



VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA  
EKONOMICKÁ FAKULTA

KATEDRA FINANČÍ

Testování efektivnosti akciových trhů pomocí lineárních a nelineárních metod

Testing the Efficiency of Stock Markets using Linear and Nonlinear Methods

Student: Bc. Markéta Kleinbauerová

Vedoucí diplomové práce: Ing. Petr Sed'a, Ph.D.

Ostrava 2018

VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Ekonomická fakulta  
Katedra financí

## Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Markéta Kleinbauerová**  
Studijní program: N6202 Hospodářská politika a správa  
Studijní obor: 6202T010 Finance  
Téma: Testování efektivnosti akciových trhů pomocí lineárních a nelineárních metod  
Testing the Efficiency of Stock Markets using Linear and Nonlinear Methods

Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

1. Úvod
2. Teoretická východiska hypotézy efektivního trhu
3. Modely efektivních trhů a metody testování efektivnosti
4. Popis vstupních dat a jejich základní statistická analýza
5. Výsledky empirických testů
6. Závěr

Seznam použité literatury

Seznam zkratk

Prohlášení o využití výsledků diplomové práce

Seznam příloh

Přílohy

Seznam doporučené odborné literatury:

ARLT, Josef a Markéta ARLTOVÁ. *Finanční časové řady*. 1. vyd. Praha: Grada, 2003. ISBN 80-247-0330-0.

CAMPBELL, J. Y., A. W. LO and A. C. MACKINLAY. *The Econometrics of Financial Markets*. New York: Princeton University Press, 1997. ISBN 0-691-04301-9.

CIPRA, Tomáš. *Finanční ekonometrie*. 1. vyd. Praha: Ekopress, 2008. ISBN 978-80-86929-43-9.

RACHEV, S., S. MITTNIK, F. FABOZZI, S. FOCARDI and T. JASIC. *Financial Econometrics: From Basics to Advanced Modeling Techniques*. 1st ed. Hoboken: John Wiley&Sons, 2007. ISBN 878-0-471-78450-0.

TSAY, Rue. *Analysis of Financial Time Series*. 3rd ed. New Jersey: John Wiley & Sons, 2010. ISBN 978-0-470-41435-4.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Petr Sed'a, Ph.D.**

Datum zadání: 24.11.2017

Datum odevzdání: 27.04.2018



---

Ing. Iveta Ratmanová, Ph.D.  
*vedoucí katedry*

---

prof. Dr. Ing. Zdeněk Zmeškal  
*děkan fakulty*

#### **Prohlášení**

„Prohlašuji, že jsem celou práci, včetně všech příloh, vypracovala samostatně. Přílohu č. 6, danou mi k dispozici, jsem samostatně doplnila“.

V Ostravě dne 21.5.2018....

Markéta Kleinbauerová  
Bc. Markéta Kleinbauerová

## **Poděkování**

„Děkuji vedoucímu mé diplomové práce, panu Ing. Petru Sedřovi, Ph.D., za metodické vedení, cenné rady, čas a trpělivost, kterou mi věnoval při zpracování této diplomové práce.“

# Obsah

<b>1</b>	<b>Úvod .....</b>	<b>6</b>
<b>2</b>	<b>Teoretická východiska hypotézy efektivního trhu .....</b>	<b>8</b>
2.1	Východiska vzniku hypotézy efektivního trhu .....	8
2.2	Definice a formy efektivních trhů .....	9
2.2.1	Slabá forma efektivnosti .....	10
2.2.2	Středně silná forma efektivnosti .....	11
2.2.3	Silná forma efektivnosti .....	12
2.2.4	Vztah mezi vnitřní hodnotou akcie a efektivitou trhu .....	13
2.3	Institucionální východiska hypotézy efektivního trhu .....	14
2.4	Vybrané projevy efektivního trhu .....	15
2.4.1	Reakce kurzů na příchod nových informací .....	16
2.4.2	Náhodnost změn kurzů .....	19
2.4.3	Velikost dlouhodobých výnosů na efektivním trhu .....	20
2.4.4	Úspěšnost obchodních strategií na efektivním trhu .....	21
2.5	Tržní anomálie .....	22
2.6	Behaviorální finance .....	23
<b>3</b>	<b>Modely efektivních trhů a metody testování efektivnosti .....</b>	<b>25</b>
3.1	Modely efektivních trhů .....	25
3.1.1	Fair Game model .....	25
3.1.2	Model martingálu .....	27
3.1.3	Modely náhodné procházky .....	27
3.2	Lineární metody testování slabé formy efektivnosti .....	29
3.2.1	Test sekvencí a zvrátů .....	30
3.2.2	Runs testy .....	32

3.2.3	Autokorelační analýza .....	33
3.2.4	Portmanteau test.....	35
3.2.5	Test poměrem rozptylů .....	36
3.3	Nelineární metody testování slabé formy efektivnosti .....	37
3.3.1	BDS test .....	38
3.3.2	ARCH test.....	39
3.3.3	Whiteův test .....	40
3.4	Potenciální problémy testování efektivnosti.....	41
3.4.1	Normalita časových řad .....	41
3.4.2	Linearita časových řad .....	43
3.4.3	Efekt nesynchronního obchodování.....	44
<b>4</b>	<b>Popis vstupních dat a jejich základní statistická analýza .....</b>	<b>46</b>
4.1	Popis vstupních dat .....	46
4.2	Globální finanční krize .....	48
4.3	Burzy a burzovní indexy.....	49
4.3.1	New York Stock Exchange.....	49
4.3.2	London Stock Exchange .....	51
4.3.3	Bourse de Paris .....	53
4.3.4	Frankfurt Stock Exchange .....	54
4.4	Deskriptivní statistiky .....	55
4.4.1	Index S&P 500.....	56
4.4.2	Index FTSE 100 .....	57
4.4.3	CAC 40 .....	58
4.4.4	DAX.....	60
<b>5</b>	<b>Výsledky empirických testů .....</b>	<b>62</b>



5.1	Lineární metody.....	62
5.1.1	Test sekvencí a zvrátů.....	62
5.1.2	Runs test.....	63
5.1.3	Autokorelační analýza .....	64
5.1.4	Test poměrem rozptylů .....	68
5.2	Nelineární metody .....	70
5.2.1	BDS test .....	70
5.2.2	ARCH test.....	71
5.2.3	Whiteův test .....	73
5.3	Shrnutí výsledků jednotlivých metod .....	75
<b>6</b>	<b>Závěr .....</b>	<b>80</b>
	<b>Seznam použité literatury .....</b>	<b>83</b>
	<b>Seznam zkratk.....</b>	<b>87</b>
	<b>Prohlášení o využití výsledků diplomové práce</b>	
	<b>Seznam příloh</b>	
	<b>Přílohy</b>	

# 1 Úvod

V posledních letech dochází k neustálému rozvoji finančního systému, s čímž souvisí také nárůst počtu investorů působících na kapitálových trzích, jejichž cílem je analyzovat pohyb kurzů cenných papírů a na základě zjištěných skutečností dosahovat zisku. Jednou z teorií vysvětlujících tento pohyb je hypotéza efektivních trhů, jejímž předpokladem je okamžitá absorpce nových informací do cen aktiv, tudíž není možné dosahovat na trhu vyšších než průměrných výnosů.

**Cílem této diplomové práce je empirické testování slabé formy informační efektivnosti na britském, francouzském, německém a americkém akciovém trhu pomocí lineárních a nelineárních statistických metod. Budou použita data o denní frekvenci v období od 1. 1. 2004 do 22. 8. 2017.** Zvoleny byly tři vyspělé evropské trhy a americký trh jako reprezentant globálního akciového trhu. Tyto trhy jsou reprezentovány nejvýznamnějšími indexy, a to indexy FTSE 100, CAC 40, DAX a S&P 500. Testovací období bude rozděleno do tří dílčích částí, jejichž hranice budou dány počátkem a koncem globální finanční krize, krizové období bylo stanoveno od 10. 10. 2007 do 30. 6. 2009.

Práce je strukturována celkem do šesti kapitol, včetně úvodu a závěru. Hned po úvodu následuje druhá kapitola, která je zaměřena na charakteristiku hypotézy efektivního trhu. Bude popsána historie jejího vzniku a uvedeny jednotlivé formy efektivnosti, tedy slabá, středně silná a silná forma. Dále zde bude věnována pozornost předpokladům a charakteristickým projevům efektivního trhu. Následně budou uvedeny výjimečné situace, které se na trhu dlouhodobě opakují, a je jimi narušována efektivnost trhu. Tyto situace jsou známy pod pojmem tržní anomálie. Závěrečná část kapitoly je věnována přiblížení behaviorálních financí, jejichž podstatou je skutečnost, že reakce subjektů na nové informace jsou často přehnané a tudíž ne vždy racionální.

Obsahem třetí kapitoly je popis modelů efektivních trhů a metod, které budou dále použity pro testování efektivnosti trhu. Mezi uvedené modely patří Fair Game model neboli model spravedlivé hry, jehož podstatou je předpoklad, že chování trhu je „fair“ a dosažené výsledky všech investorů jsou tedy srovnatelné. Dále je charakterizován model martingálu, pro který platí, že na trhu není žádná ze stran ve výhodě a nejlepším odhadem budoucí ceny je cena současná. Poslední popsané modely jsou modely náhodné procházky, které byly

rozděleny do tří typů dle předpokladů. Obsahem další části kapitoly už je popis konkrétních zvolených lineárních metod, kterými jsou test sekvencí a zvrátů, runs test, autokorelační analýza, Portmanteau test a test poměrem rozptylů. Mezi vybrané nelineární testy patří BDS test, ARCH test a Whiteův test. Na konci kapitoly jsou poté ještě uvedeny potenciální problémy testování efektivnosti, kterými jsou normalita a linearita časových řad a efekt nesynchronního obchodování.

Zaměření čtvrté kapitoly je na popis vstupních dat a jejich základní popisnou statistickou analýzu. Budou charakterizovány zvolené trhy a vymezeno časové období, po které bude efektivnost trhu testována. Dále bude jedna podkapitola věnována popisu globální finanční krize, jelikož ta je rozhodujícím ukazatelem pro rozdělení analyzovaného období do tří dílčích testovacích období. Následně budou popsány významné akciové burzy na zvolených trzích, jedná se o newyorskou, londýnskou, pařížskou a frankfurtskou burzu, a budou uvedeny základní informace o indexech, kterými jsou dané trhy reprezentovány, tedy o indexech S&P 500, FTSE 100, CAC 40 a DAX. Pro časové řady uzavíracích kurzů těchto indexů budou dále určeny deskriptivní statistiky, a to střední hodnota, medián, maximum, minimum, směrodatná odchylka, rozptyl, šikmost a špičatost.

V rámci páté kapitoly budou prováděny praktické výpočty, budou zde uvedeny výsledky jednotlivých testů a učiněny závěry o potvrzení či zamítnutí existence slabé formy efektivnosti na daných trzích. První dva uvedené testy, tedy test sekvencí a zvrátů a runs test budou provedeny pomocí programu Microsoft Excel. Pro aplikování všech ostatních testů bude použit statistický program EViews. V závěru této kapitoly bude provedeno také shrnutí výsledků použitých testů.

## 2 Teoretická východiska hypotézy efektivního trhu

Zaměření této kapitoly je čistě teoretické. V úvodní části bude krátce popsána historie hypotézy efektivního trhu, včetně významných jmen s touto hypotézou spojených. V druhé podkapitole bude efektivní trh definován a budou zde podrobněji vysvětleny jednotlivé formy efektivnosti, ve kterých se trhy mohou nacházet, tedy slabá, středně silná a silná forma. Součástí této podkapitoly bude také popis vztahu mezi vnitřní hodnotou akcie a efektivitou trhu. Dále už bude pozornost věnována základním předpokladům efektivního trhu, přičemž veškeré uvedené předpoklady budou následně popsány blíže. V závěru celé této kapitoly budou charakterizovány vybrané tržní anomálie narušující efektivitu trhů.

### 2.1 Východiska vzniku hypotézy efektivního trhu

Hypotéza efektivního trhu byla předmětem zkoumání řady ekonomů. Zvláštností je, že v porovnání s jinými teoriemi, tato začala být formována až na základě získaných zkušeností a učiněných závěrů, a to za účelem jejich vysvětlení. Ne všechna vysvětlení však byla shodná a tudíž došlo k vytvoření více teorií, které jsou dnes známé jako modely Random Walk neboli v překladu jako modely náhodné procházky. První zmínka se objevila již v roce 1900 a je spjata se jménem francouzského matematika L. Bacheliera (1900). Výsledkem jeho zkoumání bylo zjištění, že změny cen určitých komodit jsou náhodné a není mezi nimi vykazována žádná závislost. Toto tvrzení bylo publikováno v práci pod názvem *Theorie de La Speculation*. Problémem však bylo, že se jednalo pouze o matematické vysvětlení, nikoli ekonomické. Tato myšlenka byla dále podpořena až v roce 1953 statistikem M. Kendallem (1953) zabývajícím se cenovými cykly zboží, přičemž závěrem zkoumání bylo zjištění, že tyto cykly neexistují. V jeho práci byl pro náhodné změny cen poprvé použit termín „náhodná procházka“. Použití tohoto termínu souvisí se skutečností, že není možné akciový kurz dopředu předvídat, jelikož je ovlivňován mnoha událostmi, jejichž vznik je náhodný. Na tuto práci bylo v dalších letech navázáno mnoho dalších výzkumů. V roce 1959 bylo M. Osbornem (1959) na základě porovnávání změn akciových kurzů s náhodným pohybem mikroskopických částic po kapalině dokázáno, že existují určité společné rysy mezi změnami tržních cen akcií. Jedním z nich je například tendence uzavírání akciových kurzů soustředit se na maximech či minimech daného dne. Vznik hypotézy efektivního trhu je však často datován až do roku 1970, kdy byla publikována práce

E. F. Famy (1970), ve které byly popsány základy hypotézy efektivních trhů. Současná definice a jednotlivé formy efektivních trhů budou popsány v rámci následující podkapitoly [2, 13, 16, 20, 21, 29, 33, 40].

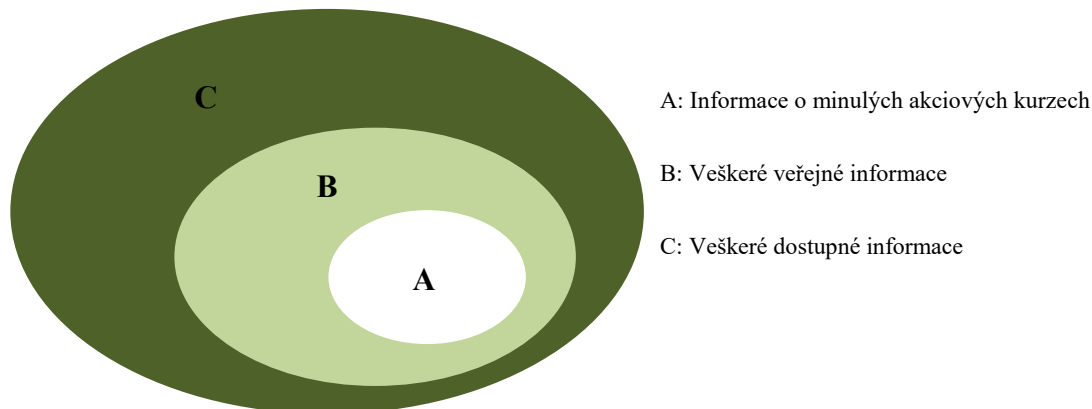
## 2.2 Definice a formy efektivních trhů

V případě, že jsou na daném trhu veškeré neočekávané informace okamžitě absorbovány do akciových kurzů, je tento trh považován za efektivní. Jelikož neexistuje rozdíl mezi tržní cenou cenného papíru a jeho vnitřní hodnotou, nelze na tomto trhu nalézt žádné podhodnocené či nadhodnocené cenné papíry a veškeré analýzy jsou zde tedy zbytečné.

V rámci analýzy efektivních trhů jsou obecně rozlišovány tři typy informací a v závislosti na tom, který typ informací je „skokově“ absorbován do tržních cen, lze určit, o jakou formu efektivních trhů se jedná. Není však možné nikdy říci, že je trh výhradně efektivní či čistě neefektivní, lze pouze stanovit, v jaké míře je daný trh efektivní. Obecně jsou rozlišovány tři formy efektivnosti trhu: slabá, středně silná a silná forma. V následující podkapitole budou tyto podrobněji popsány.

Prvním typem informací jsou informace o minulých akciových kurzech, jejichž podíl je v Obr. 2.1 nejmenší. Jedná se o informace z minulosti, jejichž analyzováním lze například zjistit, jaký byl směr pohybu historického kurzu, zda se jednalo o růst či pokles. Druhým typem informací jsou veškeré veřejné informace, tedy informace, které byly lidem oznámeny a jsou pro ně volně dostupné. Poslední a zároveň největší podmnožina je tvořena veškerými dostupnými informacemi, zde patří jak veřejné informace, tak také soukromé [8].

Obr. 2.1 Množiny dostupných informací



Zdroj: vlastní zpracování dle R. A. Haugena (2001)

### 2.2.1 Slabá forma efektivnosti

První zmíněnou formou efektivnosti trhu je **slabá forma**, kterou lze spojit s první a zároveň nejmenší skupinou informací z Obr. 2.1. Jak lze již vyvodit z názvu, jedná se o nejnižší úroveň efektivnosti trhu. V tomto případě jsou v tržních cenách cenných papírů již obsaženy veškeré dostupné historické informace a není tedy možné předpovídat budoucí změny kurzů na základě zkoumání minulosti. Blake (1995, s. 366) tvrdí, že „*předešlé ceny neposkytují žádné informace o budoucích cenách, které by dovolily investorovi získat mimořádné výnosy (větší než při pasivní strategii „kup a drž“) s použitím aktivních obchodovacích pravidel založených na historických cenách*“. Veškeré pohyby tržních cen jsou odvíjeny od neočekávaných nových informací, ať už veřejných či soukromých, a jsou náhodné. Tímto chováním je vyloučena možnost existence pravidelných trendů, ve kterých by se kurzy cenných papírů mohly pohybovat. Technická analýza, která je používána pro prognózování pohybů tržních cen akcií na základě minulých dat a jejímž předpokladem je existence trendového chování akciových kurzů, je zde tedy neúčinná a neumožňuje investorům dosáhnout nadprůměrných výnosů. Důvodem je také to, že ustanovení kurzu na trhu, který je efektivní ve slabé formě, je v podstatě okamžité a to na úrovni odrážející veškeré minulé informace, neexistuje zde proto dostatek časového prostoru pro aplikování technické analýzy a učinění nějakých závěrů.

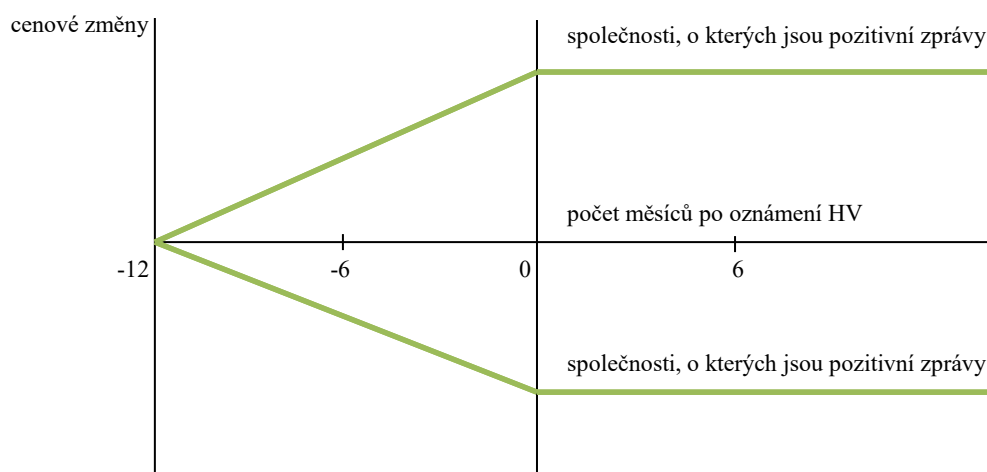
Mezi předpoklady hypotézy efektivních trhů a technické analýzy lze nalézt mnoho rozdílností, jako je například myšlenka technické analýzy založená na postupném šíření nové informace, tudíž je pro investory vytvořen dostatek času pro analyzování chování časových řad a využití těchto vědomostí ve vlastní prospěch. Naopak předpokladem efektivních trhů je téměř okamžitá absorpce neočekávaných informací do akciových kurzů a skutečnost, že změny kurzů jsou nezávislé a tudíž nemůže docházet k vytvoření pravidelně se opakujících trendových cyklů. Pokud by došlo ke zvýšení poptávky po daných akciových instrumentech pouze na základě zkoumání minulých informací, vedlo by to pouze k růstu jejich tržních cen. V tomto případě je tedy vhodnější použití například fundamentální analýzy, v rámci které je vycházeno nejen z historických dat, ale také z aktuálních zpráv [3, 8, 16, 20, 21].

## 2.2.2 Středně silná forma efektivnosti

Dalším (vyšším) stupněm efektivnosti trhu je **středně silná forma efektivnosti**. O té lze hovořit v situaci, kdy jsou akciovými kurzy téměř okamžitě absorbovány jak historické údaje, tak také veškeré aktuální informace, které jsou veřejně dostupné. Pokud tedy dojde ke zveřejnění pozitivních informací, mělo by docházet k růstu cen aktiv, zveřejnění negativních informací by naopak mělo vést ke snížení cen, dále už by ale k žádným očekávaným změnám docházet nemělo. V případě, že však v informaci není obsažena žádná významná skutečnost, ceny akcií mohou zůstat neměnné a i přesto lze potvrdit středně silnou formu efektivnosti. Zveřejněné informace jsou tedy buď absorbovány do cen ihned, tudíž neexistuje časový prostor pro provedení analýz, nebo zůstanou ceny neměnné, pokud tato informace není pro trh podstatná.

Zajímavostí je, že ke změnám cen akcií často dochází ještě před oznámením nějaké informace, jsou tedy trhem předvídaný ještě dříve, než dojde k jejich zveřejnění. Blake (1995) tvrdí, že „u podniků *“s příznivými zprávami”* se asi 90 procent z celkového nárůstu cen akcií uskuteční v období 12 měsíců předcházejících veřejnému oznámení a pouze 10 procent zvýšení ceny v následujících 6 měsících po oznámení. Ke stejnému efektu dochází u podniků *“se špatnými zprávami”*“. Uvedená situace je zobrazena v grafu 2.1.

Graf 2.1 Změny cen aktiv v závislosti na veřejném oznámení informací



Zdroj: vlastní zpracování dle Blake (1995)

Případ středně silné formy efektivnosti trhu je spojen s podmnožinou B v Obr. 2.1. Stejně jako v předchozím případě, ani zde tedy nemá význam provádět technickou analýzu. V případě existence středně silné formy efektivnosti trhu je neúčinná také fundamentální analýza, jejímž cílem je na základě dostupných informací nalézt nesprávně ohodnocené cenné papíry. Důvodem je skutečnost, že na trhu, který je efektivní ve středně silné formě nelze nalézt podhodnocené či nadhodnocené akcie. Ani použití psychologické analýzy nezabezpečí v této situaci dosažení vyšších než průměrných výsledků. Nadprůměrných výnosů lze dosáhnout pouze v případě získání neveřejné, tzv. inside informace, což však není jednoduché [3, 16, 21].

### 2.2.3 Silná forma efektivnosti

Nejvyššího stupně efektivnosti je na trhu dosaženo v případě **silné formy efektivnosti**, pro kterou je charakteristické téměř okamžité absorbování veškerých (jak veřejných, tak také neveřejných) informací do akciových kurzů. Dosažení nadprůměrných výnosů tedy není umožněno ani získáním inside informací, jako tomu bylo v předchozím případě. Při existenci silné formy efektivnosti trhu je akciový kurz shodný s vnitřní hodnotou akcie a na takovémto trhu nelze nalézt nesprávně ohodnocené cenné papíry. Opět tedy nemá význam provádět jakoukoli analýzu za účelem dosažení vyššího výnosu než ostatní investoři. Takovýto trh bývá někdy také označován jako trh perfektní. Případ silné formy efektivnosti trhu je spojen s podmnožinou C v Obr. 2.1.

Určení, zda lze potvrdit na nějakém trhu existenci silné formy efektivnosti je však velmi problematické, jelikož inside informace jsou tajné a tudíž pro veřejnost neznámé. Nelze tedy zkoumat, jak rychlá je reakce kurzů na tuto informaci. V praxi lze tedy pouze z dlouhodobého časového hlediska porovnávat, zda investoři, kteří mají přístup k těmto neveřejným informacím, tedy insider obchodníci, dosahují lepších výsledků než ostatní, či nikoli. Zde je ještě vhodné definovat, co je chápáno pod pojmem insider obchodník. Veselá (1995, s. 266) uvádí, že „*americké právo cenných papírů vymezuje pojem insider obchodníků (nebo také firemních insiderů) taxativně jako vysoké (top) managery společností, členy rad ředitelů a majoritní firemní vlastníky, jenž vlastní 10 % a více z majetku společnosti*“ [16, 20, 21].



Toto byl tedy výčet a charakteristika jednotlivých forem efektivnosti. Musílek (2011) tvrdí, že „*teorie efektivních trhů nepředpokládá, že by investoři byli schopni bezchybně určit budoucí tržní cenu. Pouze tvrdí, že aktuální tržní cena je objektivní cenou, protože zahrnuje všechny dostupné informace*“.

V praktické části této práce bude pozornost zaměřena pouze na testování slabé formy efektivnosti na akciových trzích vybraných zemí.

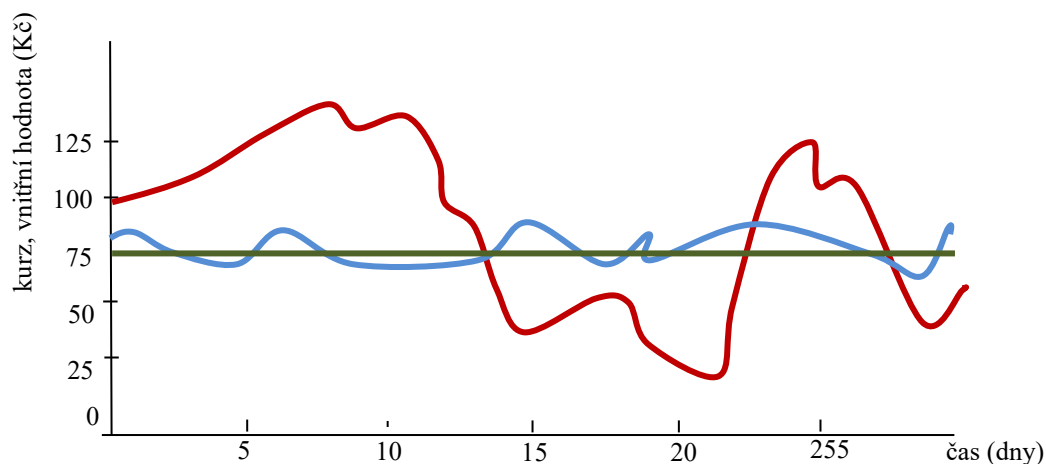
## **2.2.4 Vztah mezi vnitřní hodnotou akcie a efektivitou trhu**

Vnitřní hodnotu akcie lze obecně chápat jako skutečnou hodnotu akcie. Její určení je však velmi subjektivní, záleží to tedy na postoji konkrétního investora a také na metodě, která byla pro určení této hodnoty použita. V grafu 2.2 jsou srovnána možná kolísání kurzu akcie kolem její vnitřní hodnoty na trzích, které jsou efektivní ve slabé, středně silné a silné formě.

V zásadě mohou nastat celkem tři situace:

- **akciový kurz je větší než vnitřní hodnota akcie**, což znamená, že ocenění akcií není správné, jelikož jsou prodávány za příliš vysokou cenu. Tyto akcie se tedy kupovat nevyplatí, a pokud jsou v portfoliu investora nějaké obsaženy, je vhodný čas pro jejich prodej,
- **akciový kurz je menší než vnitřní hodnota akcie**, což opět značí nesprávné ocenění. V tomto případě, jsou však akcie prodávány za nižší cenu, než je jejich skutečná hodnota a proto je výhodné tyto nakoupit a zařadit do svého portfolia,
- **akciový kurz se rovná vnitřní hodnotě akcie** v případě, že je akcie na trhu oceněna správně. V této situaci je výhodné prozatím nekonat a počkat, jaký bude směr kurzu v budoucnu [13, 21].

Graf 2.2 Výkyvy akciového kurzu od vnitřní hodnoty akcie dle stupně efektivity trhu



Zdroj: vlastní zpracování dle Veselá (2011)

## 2.3 Institucionální východiska hypotézy efektivního trhu

Aby bylo o nějakém trhu možné hovořit jako o efektivním ve slabé, středně silné či silné formě, je vždy třeba zvážit, zda jsou splněny předpoklady hypotézy efektivního trhu. Jako základní předpoklady uvádí Veselá (2011) tyto:

- ziskový motiv investorů,
- konkurenční trh,
- volný, nepřetržitý tok informací,
- vybudování kvalitní infrastruktury na trhu,
- likvidní trh,
- kvalitní právní legislativa.

Prvním uvedeným předpokladem je ziskový motiv investorů. Ten je dán především působením velkého množství investorů na trhu, jejichž snahou je být aktivní a cenné papíry neustále analyzovat za účelem najít takový akciový instrument, u kterého bude existovat rozdíl mezi tržní cenou a vnitřní hodnotou, v důsledku čehož bude možné dosáhnout zisku. To znamená, že pro tyto investory je typická víra v existenci nesprávně oceněných cenných papírů, i když jinými jsou předpokládány znaky efektivního trhu. V případě nalezení

podhodnocených cenných papírů, tyto jsou ihned nakoupeny a naopak nadhodnocené jsou prodány. Tímto chováním dochází k eliminaci možných ziskových i ztrátových příležitostí, čímž dochází k přibližování ceny akcie k její vnitřní hodnotě, což je znakem efektivního trhu. Z tohoto tvrzení je zřejmé, že na efektivním trhu existuje velká konkurence, pro kterou je typické velké množství nezávislých subjektů působících na trhu a také volný vstup do odvětví. Je tedy předpokládána neexistence monopolů či oligopolů, kterými by mohlo být díky zvýhodněnému postavení v oblasti tvorby cen dosahováno nadprůměrného zisku.

Dále by mělo platit, že všichni účastníci by měli mít v každém okamžiku volný přístup k aktuálním, úplným a pravdivým informacím, aby na ně mohli rychle reagovat v důsledku odhalení nákupních a prodejních signálů. S tímto také souvisí nutnost existence kvalitní infrastruktury trhu, což zahrnuje jak bezchybné fungování burzy, v rámci které jsou obchody prováděny s nízkými transakčními náklady, tak také zabezpečení kontrolního a regulačního systému. Dalším základním předpokladem je existence likvidního trhu, což dle Veselého (1995, s. 169) znamená *„takového trhu, kde je možné ve velice krátké časové periodě s minimálními transakčními náklady přeměnit méně likvidní finanční instrumenty na instrumenty likvidní, tzn. na takové instrumenty, které je okamžitě možné použít na úhradu svých závazků“*. Zajištění kvalitní právní legislativy by také mělo zamezit existenci nepoctivých praktik na trhu. Je důležité jasně vymezit práva a povinnosti subjektů působících na finančních trzích, přičemž by nikdo neměl být diskriminován. Mezi jednotlivými subjekty by měla být zajištěna rovnost a jejich práva by měla být chráněna [20, 21].

## 2.4 Vybrané projevy efektivního trhu

O daném trhu lze hovořit jako o efektivním, pouze pokud splňuje určité charakteristiky, které jsou pro efektivní trhy typické. Dle Haugena (2001) existují čtyři základní charakteristiky efektivních trhů:

- reakce kurzů cenných papírů na novou informaci by měla být okamžitá,
  - změny tržních cen cenných papírů jsou nezávislé a nepředvídatelné,
  - na efektivním trhu není možné dosáhnout opakovaně či dlouhodobě nadprůměrných výnosů na základě zkoumání charakteristik investic.
- V dlouhodobějším časovém horizontu jsou výsledky investorů srovnatelné,

- veškeré obchodní strategie ztrácí svůj význam.

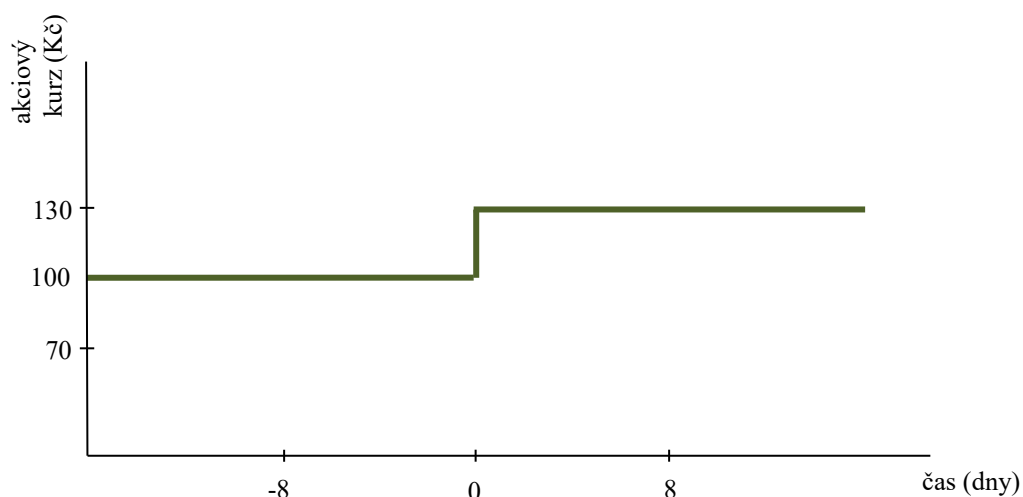
Všechny tyto uvedené projevy efektivního trhu budou dále podrobněji popsány a vysvětleny.

### 2.4.1 Reakce kurzů na příchod nových informací

Nové zprávy týkající se makroekonomických událostí mohou mít výrazný dopad na změny v akciových kurzech. Pokud ze zveřejněných zpráv vyplývá, že makroekonomický vývoj bude lepší, než se očekávalo, povede to zpravidla ke zvýšení akciových kurzů. Vzhledem ke globalizaci trhů, pokud je zveřejněna nějaká nová neočekávaná informace týkající se jedné ekonomiky, není většinou výsledný dopad pouze na tuto ekonomiku, ale také na zahraniční trhy.

Obecně jsou rozlišovány čtyři typy reakcí, a to skoková, předběžná, zpožděná a nadměrná. Pokud dojde na trhu k jakékoli jiné reakci než skokové, je takovýto trh považován za neefektivní. V grafu 2.3 je znázorněna situace skokové reakce. V případě zveřejnění nové informace, která na trhu nebyla očekávána, dochází k jejímu okamžitému absorbování do tržní ceny akcie, přičemž tedy nedochází k žádnému nebo pouze zanedbatelnému zpoždění.

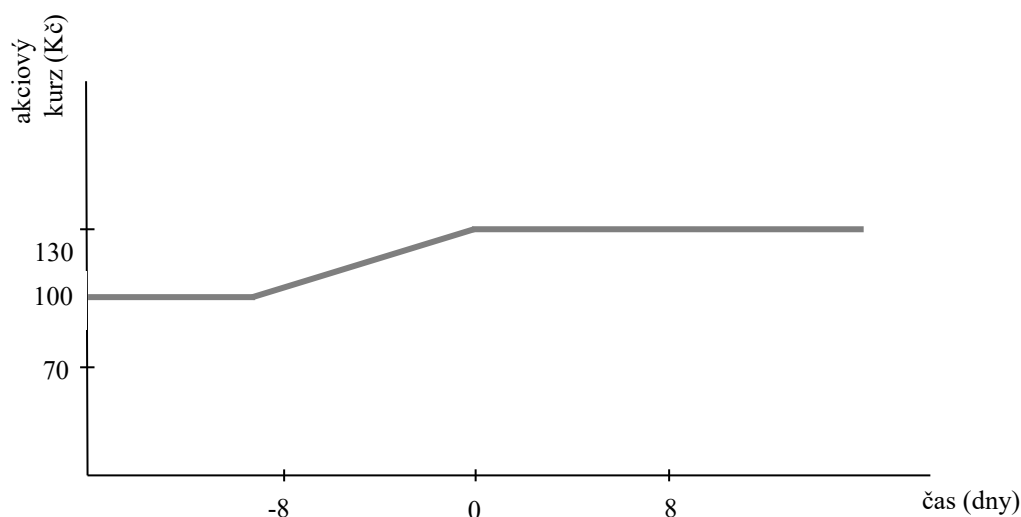
Graf 2.3 Skoková reakce akciového kurzu



Zdroj: vlastní zpracování dle Veselá (2011)

Grafické znázornění předběžné reakce lze vidět v grafu 2.4. V případě tohoto typu reakce nedochází k okamžité změně akciového kurzu, jako tomu bylo u předchozího příkladu, nýbrž dochází k postupnému absorbování nové a neočekávané informace do kurzu ještě před okamžikem, kdy dojde ke zveřejnění dané zprávy. V případě existence předběžné reakce na trhu, nelze o tomto trhu hovořit jako o efektivním.

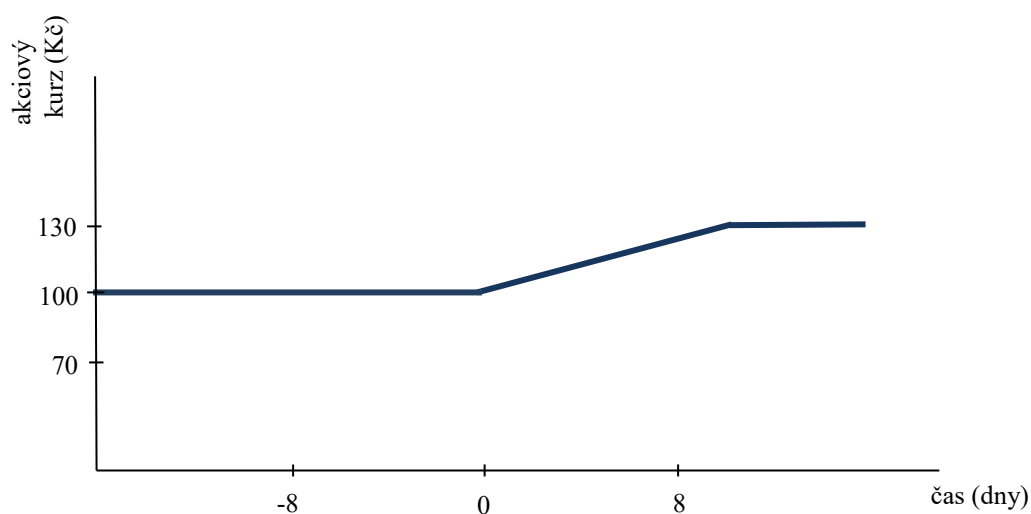
**Graf 2.4** Předběžná reakce akciového kurzu



Zdroj: vlastní zpracování dle Veselá (2011)

V grafu 2.5 lze vidět zpožděnou reakci akciového kurzu, která je pravým opakem reakce předběžné. V tomto případě dochází k postupnému vstřebávání informace, kdy tato reakce může trvat až několik dnů. Za předpokladu existence tohoto typu reakce se opět jedná o trh neefektivní.

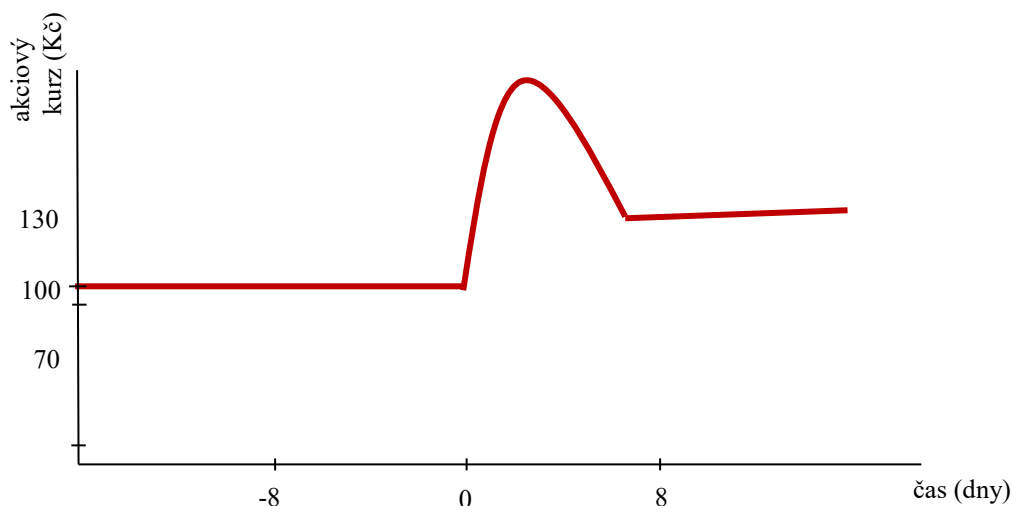
**Graf 2.5** Zpožděná reakce akciového kurzu



Zdroj: vlastní zpracování dle Veselá (2011)

Posledním typem zmíněných reakcí je reakce nadměrná, pro kterou je typická přehnaně vysoká změna akciového kurzu, jak je znázorněno v následujícím grafu 2.6. Toto chování bývá často ovlivněno psychologickými faktory [21].

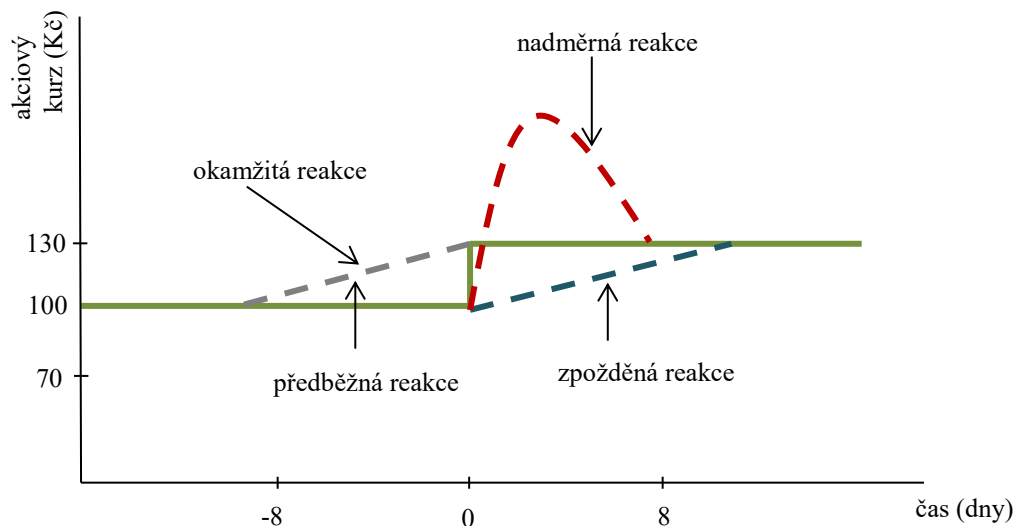
**Graf 2.6 Nadměrná reakce akciového kurzu**



Zdroj: vlastní zpracování dle Veselá (2011)

V grafu 2.7 jsou pro snadné srovnání zobrazeny všechny uvedené typy reakcí akciových kurzů na novou informaci najednou. Jak již bylo zmíněno, na efektním trhu lze předpokládat pouze skokovou reakci, ostatní možnosti jsou znakem neefektivity trhu.

**Graf 2.7 Reakce akciových kurzů na novou informaci**



Zdroj: vlastní zpracování dle Veselá (2011)

## 2.4.2 Náhodnost změn kurzů

Druhou základní charakteristikou efektivních trhů je náhodnost ve změnách kurzů. Tento fakt byl již zmíněn v souvislosti se jménem L. Bachelier v podkapitole 2.1. Předmětem zkoumání tohoto francouzského matematika byly změny cen vybraných komodit, přičemž výsledkem tohoto bádání bylo zjištění, že tyto změny jsou na sobě navzájem nezávislé a jsou náhodné.

Dle Haugena (2001) jsou trhy cenných papírů efektivní, pokud jsou veškeré informace již zahrnuty v současných cenách a ke změnám těchto cen může dojít pouze v případě reakcí na novou informaci, kterou nelze dopředu předvídat. Pokud by bylo možné provést nějakou predikci, nedošlo by k žádné reakci kurzu, jelikož by se jednalo o všeobecně známou, a tedy očekávanou informaci, která by byla v kurzu již obsažena. Tato situace může být spojena s únikem inside informace, tedy veřejnosti nedostupné informace, kdy dochází k jejímu šíření mezi investory a je tedy kurzem postupně absorbována ještě dříve než je oficiálně zveřejněna.

V případě existence efektivnosti trhu dochází k okamžitému absorbování nepředvídané a zveřejněné informace a dojde ke skokové změně kurzu, což proběhne velmi rychle. Pokud nastane později další změna kurzu, nelze původ přisuzovat této informaci, nýbrž nějaké nové neočekávané informaci, která s původní nesouvisí. Vzhledem k tomu, že tyto informace se na trhu objevují náhodně a jsou na sobě nezávislé, lze konstatovat, že i změny v cenách cenných papírů jsou náhodné. Toto chování je známé také pod termínem "náhodná procházka", který byl poprvé použit již v roce 1953, a to statistikem M. Kendallem. Veselá (2011, s.582) uvádí, že „*kurzy cenných papírů konají náhodnou procházku, pokud výnosová míra cenného papíru  $i$  v období  $t+1$ , tedy zítra, je rovna výnosové míře cenného papíru v období  $t$ , tedy dnes, plus částka, která závisí na nové informaci, oznámené mezi obdobími  $t$  a  $t+1$ , neočekávané a nepředvídatelné*“. Z uvedeného tvrzení lze vyvodit, že pokud by se jednalo o očekávanou informaci a bylo ji tedy možné dopředu předvídat, byla by tato okamžitě absorbována do akciových kurzů a k následným reakcím cen cenných papírů by již nedošlo [8, 20, 21].

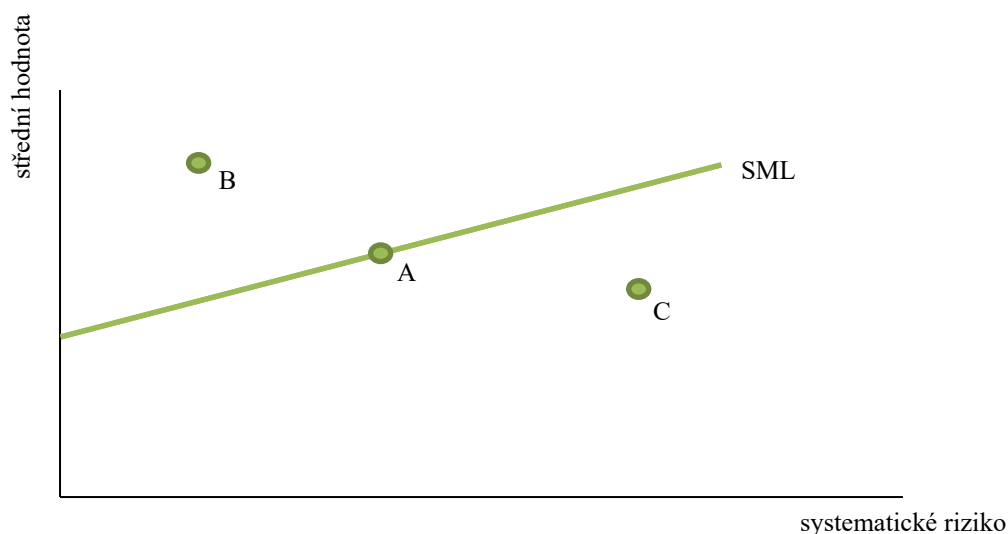
### 2.4.3 Velikost dlouhodobých výnosů na efektivním trhu

Jak již bylo zmíněno dříve, charakteristickou vlastností investorů je jejich ziskový motiv, což vede k neustálé snaze nalézt nějaké nesprávně ohodnocené akcie a využít rozdílů mezi jejich tržní cenou a vnitřní hodnotou. Pokud by se na trhu nacházely podhodnocené akcie, byly by ihned nakupovány za účelem dosažení nadprůměrného zisku, čímž by však rychle rostla poptávka po těchto cenných papírech a tím by byla jejich cena tlačena nahoru, až by bylo opět dosaženo rovnováhy. V případě nadhodnocených akcií by byly tyto naopak prodávány a docházelo by tedy k poklesu cen. Z uvedeného chování akciových kurzů je zřejmé, že jakékoli existující ziskové příležitosti na efektivním trhu jsou velmi rychle potlačeny a z dlouhodobého hlediska není tedy možné dosahovat při dané úrovni rizika výrazně vyššího výnosu ve srovnání s ostatními investory. To však neznamená, že nelze ve sledovaném období dosáhnout vyššího výnosu nikdy, není to pouze možné opakovaně a trvale. Musílek (2011, s.284) tvrdí, že „*Pokud někdo dosahuje nadprůměrných výsledků, pak je to pravděpodobně způsobeno používáním nepoctivých obchodních praktik*“. Pro hodnocení efektivnosti trhu je také důležité, aby při analýzách měli investoři kompletní informace. Pokud by totiž nebyly některé z veřejných informací do analýzy zahrnuty, mohl by se daný cenný papír jevit jako nesprávně oceněný, avšak ve skutečnosti tomu tak není a proto nelze na základě této skutečnosti označit trh za neefektivní.

Pro grafické znázornění vztahu mezi výnosem, rizikem a kurzem akcie lze využít přímkou trhu cenných papírů vyjadřující lineární závislost střední hodnoty výnosu na systematickém riziku. V případě existence správně oceněných akcií by byly tyto zobrazeny na přímce, v grafu 2.8 je to tedy bod A. Body nacházející se mimo přímku představují nesprávně ohodnocené cenné papíry na neefektivním trhu. Podhodnocená akcie je zobrazena pomocí bodu B, tedy nad přímkou trhu cenných papírů, nadhodnocená akcie potom pomocí bodu C pod přímkou [16, 20, 21].



Graf 2.8 Správně a nesprávně ohodnocené cenné papíry



Zdroj: vlastní zpracování dle Veselá (1995)

#### 2.4.4 Úspěšnost obchodních strategií na efektivním trhu

V této podkapitole budou stručně popsány tři hlavní strategie používané pro oceňování akcií a jejich úspěšnost na efektivních trzích. Jedná se o fundamentální analýzu, technickou analýzu a psychologickou analýzu.

Polách (2002, s. 179) tvrdí, že se "*fundamentalisté zaměřují na odhad veškerých faktorů, které mohou mít v budoucnu vliv na vývoj kurzů akcií. Jedná se především o odhad celkového vývoje ekonomiky, odvětví a konkrétní činnosti*". Podstatou této metody je nalézt vnitřní hodnotu akcie a následně ji srovnat s tržní cenou. Na základě tohoto srovnání je možné určit, zda je akcie ohodnocena správně či nesprávně. Pokud jsou v portfoliu investora obsaženy podhodnocené akcie (vnitřní hodnota akcie je větší než kurz), je výhodné tyto akcie koupit. Naopak v případě nadhodnocených akcií, které jsou prodávány za cenu vyšší, než je jejich vnitřní hodnota, je výhodné tyto prodat.

Druhou, často používanou metodou je **technická analýza**, kde je pozornost věnována minulosti. Předpokladem je, že veškeré informace, kterými by mohla být cena akcie ovlivněna, už jsou v této ceně obsaženy a kurz je tedy určován pouze na základě nabídky a poptávky po cenných papírech na trhu. Nejprve je v rámci technické analýzy třeba analyzovat historický vývoj akciových kurzů a objemy obchodování s těmito akciemi. Snahou

investorů je poté na základě těchto údajů nalézt vývojový trend, který by se mohl v budoucnu opakovat a určit tak čas, kdy je výhodné akcie koupit či prodat.

Poslední zmíněnou metodou je **psychologická analýza**. Zde je vycházeno z předpokladu, že akciové kurzy jsou ovlivňovány rozhodováním investorů, které však není vždy racionální, ale bývá velmi často ovlivněno emocemi. Jílek (2009, s.114) tvrdí, že „*schopnost nepodlehnout davové psychóze mají pouze silné osobnosti. Pokud investor podlehne davu, nemůže být lepší ani horší než průměr*“ [13, 17].

Na trzích, pro které je charakteristická slabá forma efektivnosti, nedochází k postupnému rozšiřování nových informací mezi občany, nýbrž k jejich téměř okamžitému absorbování do akciového kurzu a nezbývá už tedy čas na provádění technické analýzy. Lze tedy konstatovat, že tato analýza je na trzích, které jsou efektivní ve slabé formě, zbytečná. Stejně je tomu i u trhů, pro které je typická středně silná forma efektivnosti, kdy jsou v akciových kurzech obsaženy nejenom historické, ale také veškeré informace týkající se současnosti. Fundamentální analýza je zde tedy také nevýznamná. Pro silnou formu efektivnosti je typické, že jsou v akciových kurzech absorbovány veškeré veřejné i neveřejné informace na trhu, a tudíž nemá význam, ve snaze dosáhnout vyššího než průměrného výnosu, provádět žádnou z uvedených analýz. To tedy znamená, že výsledky všech investorů by měly být srovnatelné bez ohledu na to, zda jsou rozhodnutí prováděna na základě analýz či bez nich [17, 21].

## 2.5 Tržní anomálie

V případě existence efektivního trhu není možné dlouhodobě dosahovat nadprůměrných výnosů. Existují však jisté výjimky, jelikož byly zaznamenány specifické situace, které se na trhu pravidelně, dokonce dlouhodobě opakují, a jejich odhalením mohou investoři dosahovat opakovaně nadprůměrných výnosů. V následujícím textu budou popsány vybrané tržní anomálie, kterými je efektivnost trhu narušována. Jedná se o lednový efekt, pondělní efekt, efekt velikosti a efekt nízkého ukazatele P/E. Nalezení jakékoli anomálie by mohlo být projevem neefektivnosti trhu.

Mezi jednu z nejznámějších tržních anomálií patří tzv. **lednový efekt**, který je spjat zejména s firmami s nízkou tržní kapitalizací. Jak již vyplývá z názvu, tento efekt byl

zaznamenán vždy na počátku roku, kdy byl zjištěn nadprůměrný růst cen akcií oproti jiným měsícům, a to zejména v prvních pěti dnech. První zmínky se objevily v 80. a 90. letech, a to téměř po celém světě. Existuje řada vysvětlení pro vznik této anomálie, jedním z důvodů může být například snaha o snížení daňového základu o ztráty. Proto je na konci roku zaznamenán nárůst prodejů akcií, u nichž došlo k poklesu kurzů. Další důvod lze hledat u správců portfolií, jelikož na konci roku dochází často ke změnám strategií a poté, na začátku dalšího roku bývají do portfolia přidávány právě akcie malých firem. V důsledku rostoucí poptávky tak dochází také k růstu tržních cen těchto akcií.

Další významnou anomálií na trhu je tzv. **pondělní efekt**, který souvisí s tím, že v pondělí dochází k největším změnám v akciových kurzech a tyto změny mohou být dokonce negativní. Opět zde lze nalézt několik vysvětlení. Příkladem může být zveřejňování negativních informací, které bývá většinou načasováno na pátek odpoledne, kdy už není na trhu čas na promítnutí této zprávy do akciových kurzů. Následující týden jsou však tyto informace zahrnuty do rozhodování investorů a projeví se tedy poklesem tržních cen.

**Efekt velikosti** je opět spjat s malými firmami a je zde vycházeno z předpokladu, že investice do akcií firem s nízkou tržní kapitalizací bývají spojeny s vyššími výnosy. Důvodem může být nedostatek informací o těchto společnostech a tudíž i nižší likvidita s nimi spojená.

Poslední zmíněnou anomálií je tzv. **efekt nízkého ukazatele P/E**. Tento ukazatel je vyjádřen jako poměr kurzu akcie a čistého zisku na akcii. Polách (2002, s.198) uvádí, že „*tento ukazatel představuje množství peněžních jednotek, které je investor ochoten zaplatit za jednu jednotku zisku*“. Tento efekt je založen na doporučení investovat do akcií s nejnižší hodnotou ukazatele P/E, jelikož je pomocí takovýchto investic možné dosáhnout vyšších než průměrných výnosů. Jedním z vysvětlení tohoto efektu je přílišný důraz analytiků na historické údaje [16, 17, 21].

## 2.6 Behaviorální finance

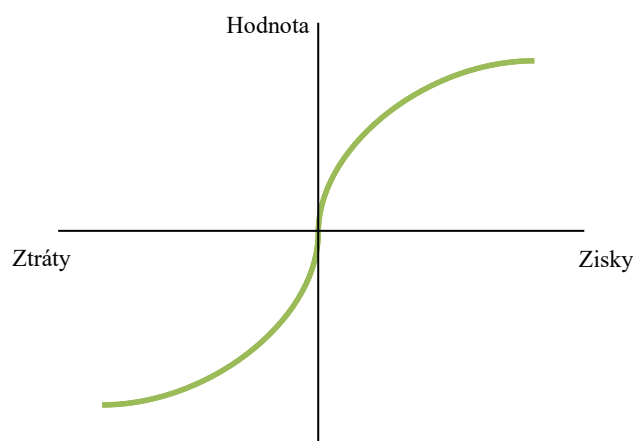
Předpokladem hypotézy efektivního trhu je racionální chování investorů, což však v praxi není vždy možné, jelikož chování investorů je do značné míry ovlivněno psychologickými faktory. V předchozí podkapitole byly zmíněny tržní anomálie, které jsou

v rozporu s hypotézou efektivního trhu a nelze je tedy v rámci této hypotézy vysvětlit. Ke zdůvodnění lze však použít myšlenky behaviorálních financí, jejichž základem je skutečnost, že uvažování subjektů o investicích není vždy racionální a proto často dochází k přehnaným reakcím investorů na nové informace.

Základní úvahy behaviorálních financí jsou převzaty z prospektové teorie, která byla zveřejněna v roce 1979 a jejímiž autory jsou D. Kahneman a A. Tversky (1979). Podstatou této teorie bylo zkoumání, jak je ze strany subjektů reagováno na zisky a ztráty, přičemž závěrem bylo zjištění, že pro subjekty jsou důležitější dosažené zisky a ztráty než absolutní hodnota jejich majetku. V rámci této teorie byla vytvořena hodnotová funkce, která je zobrazena v grafu 2.9. Tato funkce je zpravidla konkávní pro zisky, čímž je vyjádřena averze většiny subjektů ke ztrátě a konvexní pro ztráty. Z hlediska strmosti je obvykle větší strmost funkce zaznamenána pro ztráty než pro zisky. Průsečík os je referenční bod, tedy nějaký výchozí bod, od kterého jsou posuzovány zisky a ztráty. Musílek (2011, s. 295) behaviorální finance definuje jako „*interdisciplinární teorii zkoumající vliv psychologie na rozhodování investorů a fungování trhů cenných papírů*“.

Dalším významným rozdílem oproti hypotéze efektivního trhu je připuštění existence trendů, což je vysvětleno tím, že chování investorů je často podřízeno chování davu. V případě, že je odhad investorů ohledně budoucího chování trhu správný, je možné dosáhnout nadprůměrných výnosů [16, 32, 41].

**Graf 2.9** Hodnotová funkce dle prospektové teorie



Zdroj: vlastní zpracování dle Sewell (2007)

### 3 Modely efektivních trhů a metody testování efektivnosti

V rámci této kapitoly budou popsány vybrané modely efektivních trhů a dále také metody sloužící k testování efektivnosti. Tyto metody budou později použity v praktické části práce. Mezi zvolené modely patří Fair Game model, který je založen na předpokladu, že na trhu nelze nalézt podhodnocené či nadhodnocené cenné papíry a na základě těchto skutečností dosahovat zisku. Dále bude přiblížen princip modelu martingálu, jehož základ je tvořen úvahou, že nejlepším budoucím odhadem ceny je cena současná. Následně je pozornost věnována popisu tří typů modelů náhodné procházky, které, stejně jako model martingálu, jsou řazeny mezi modely spravedlivé hry.

V následující části budou popsány lineární a nelineární metody testování efektivnosti. Mezi vybrané lineární metody patří test sekvencí a zvrátů, runs test, autokorelační analýza, Portmanteau test a test poměrem rozptylů. Zvolenými nelineárními metodami jsou BDS test, ARCH test a Whiteův test. V závěru kapitoly jsou ještě uvedeny potenciální problémy testování efektivnosti, jako je normalita a linearita časových řad a efekt nesynchronního obchodování [42].

#### 3.1 Modely efektivních trhů

Jak již bylo zmíněno v podkapitole 2.2, jedním z předpokladů efektivních trhů je skutečnost, že nové informace jsou do ceny cenných papírů absorbovány ihned. Postupem času bylo zformováno hned několik modelů efektivních trhů, vycházejících z těchto teoretických předpokladů. Postupně bude popsán Fair Game model, neboli model spravedlivé hry, dále model martingálu a modely náhodné procházky.

##### 3.1.1 Fair Game model

Prvním zmíněným modelem efektivních trhů je Fair Game model, jehož podstatou je předpoklad, že na trhu jsou velikosti skutečného a očekávaného výnosu shodné a nemůže tedy být profitováno z rozdílu mezi kurzem a vnitřní hodnotou cenného papíru. Lze říci, že fungování trhu vůči všem účastníkům je „fair“. Matematický zápis výše uvedeného je následující:

$$r_{k,t+1} = E(r_{k,t+1} | \theta_t) + \varepsilon_{k,t+1}, \quad (3.1)$$

kde  $r_{k,t+1}$  je skutečně dosažený výnos z  $k$ -tého cenného papíru v čase  $t+1$ ,  $E(r_{k,t+1} | \theta_t)$  je očekávaný výnos z  $k$ -tého cenného papíru v čase  $t+1$  v závislosti na informacích, které byly dostupné v čase  $t$  ( $\theta_t$ ), tedy minulých informacích a  $\varepsilon_{k,t+1}$  je označení pro nesystematickou chybu odhadu výnosu z  $k$ -tého cenného papíru v období  $t+1$ .

Aby však mohla být potvrzena existence slabé formy efektivnosti, musí být splněny určité charakteristiky chyby odhadu, kterými jsou:

- nestrannost vzhledem k očekávanému výnosu, což znamená, že v průměru musí být chyba odhadu u veškerých pozorování nulová,
- nekorelovanost s očekávaným výnosem,
- efektivnost, čili současná sériová nekorelovanost predikčních chyb jednotlivých cenných papírů.

Jestliže jsou tyto charakteristiky splněny, potom může být rozdíl mezi skutečnou tržní cenou cenného papíru v čase  $t+1$  a její očekávanou hodnotou vyjádřen následovně:

$$x_{i,t+1} = P_{i,t+1} - E(P_{i,t+1} | \theta_t), \quad (3.2)$$

kde  $x_{i,t+1}$  je rozdíl mezi skutečným a očekávaným kurzem  $i$ -tého cenného papíru v čase  $t+1$ ,  $P_{i,t+1}$  je cena  $i$ -tého cenného papíru v čase  $t+1$ ,  $E(P_{i,t+1} | \theta_t)$  je očekávaná cena  $i$ -tého cenného papíru v čase  $t+1$  za podmínek souboru informací, které byly dostupné v čase  $t$ .

Vzhledem k předpokladu Fair Game modelu, kdy není možné dosáhnout zisku na základě rozdílu mezi skutečným a očekávaným kurzem, platí, že rozdíl mezi těmito kurzy je v daném čase nulový. Lze tedy konstatovat, že za předpokladu existence Fair Game neexistují na trhu žádné nesprávně ohodnocené cenné papíry. Fundamentální analýza zde tedy ztrácí význam, jelikož ceny cenných papírů jsou rovny jejich fundamentální hodnotě. V případě, že dojde ke změně fundamentální hodnoty, což je možné pouze na základě zveřejnění nové informace, tato skutečnost bude ihned absorbována i do ceny cenného papíru. Výše uvedené lze matematicky zapsat následovně:

$$E(x_{i,t+1} | \theta_t) = 0, \quad (3.3)$$

kde  $E(x_{i,t+1} | \theta_t)$  je očekávaný rozdíl mezi skutečným a očekávaným kurzem  $i$ -tého cenného papíru v čase  $t+1$  vzhledem k souboru informací dostupných v čase  $t$  [3, 21].

### 3.1.2 Model martingálu

Model martingálu lze zařadit mezi nejstarší modely zabývající se pohybem kurzů cenných papírů. Původ lze hledat už v 16. století, a to v souvislosti se vznikem teorie pravděpodobnosti a také se vznikem hazardních her, jelikož tento pojem byl používán pro rizikovou strategii v rámci hazardních her. Základní logika martingálu byla vysvětlena v 16. století italským matematikem Girolamo Cardanem, který popsal princip hazardních her, přičemž za nejzákladnější princip v oblasti her byla považována rovnost podmínek. Mělo by se tedy jednat o „fair game“, kdy žádná ze stran není ve výhodě a to je podstatou martingálu.

Arlt (2003, s. 14) popisuje podstatu martingálu následovně: „*Jestliže  $P_t$  představuje cenu aktiva v čase  $t$ , potom očekávaná cena v čase  $t+1$  je cena v čase  $t$ , za podmínky znalosti všech cen aktiva v minulosti*“. Zjednodušeně řečeno to znamená, že předpokladem modelu martingálu je skutečnost, že nejlepším odhadem budoucí ceny je cena současná, přičemž je také předpokládána znalost historických cen aktiv. Matematicky lze tedy martingál popsat takto:

$$E[P_{t+1} | P_t, P_{t-1}, \dots] = P_t, \quad (3.4)$$

kde  $E[P_{t+1} | P_t, P_{t-1}, \dots]$  je očekávaná cena aktiva v čase  $t+1$  podmíněná znalostí současné ceny a minulých cen tohoto aktiva,  $P_t$  je cena aktiva v čase  $t$ .

Dalším předpokladem tohoto modelu je nekorelovanost nepřekrývajících se cenových změn aktiv. Lze tedy říci, že tyto změny jsou lineárně nezávislé. Po dlouhou dobu byl martingál považován za nezbytnou podmínku, která musí být splněna, aby mohl být trh považován za efektivní. Důvodem je právě skutečnost, že na efektivním trhu není možné profitovat za pomoci znalosti historických cen, což je ještě posíleno nemožností předvídat ceny s jistotou. Za nedostatek modelu lze považovat opomenutí důležitého faktoru, kterým je faktor rizika [1, 4].

### 3.1.3 Modely náhodné procházky

Ještě před přiblížením jednotlivých modelů náhodné procházky je nutné vysvětlit, co je chápáno pod pojmem náhodná procházka. Malkiel (2012, s. 28) tvrdí, že „náhodná

*procházka je taková, při níž nemohou být budoucí kroky nebo směr předvídány na základě minulosti...znamená to, že krátkodobé změny v cenách akcií jsou nepředvídatelné“.* Nemá tudíž význam provádět složité analýzy minulosti a na jejich základě vytvářet prognózy o budoucím pohybu kurzů. Fundamentální a technická analýza jsou zde tedy zbytečné.

**The Random Walk 1** je nejjednodušší verzí hypotézy náhodné procházky. Stejně jako model martingálu, i tento je řazen mezi modely spravedlivé hry, avšak v ještě silnějším významu. Základním předpokladem je nezávislost přírůstků cen, které mají stejné rozdělení pravděpodobnosti s nulovou střední hodnotou a rozptylem  $\sigma^2$ . Zároveň platí, že také nelineární funkce těchto přírůstků cen jsou vzájemně nezávislé. Matematicky lze tento model zapsat následovně:

$$P_t = \mu + P_{t-1} + \varepsilon_t, \quad \varepsilon_t \sim IID(0, \sigma^2), \quad (3.5)$$

kde  $P_t$  je cena aktiva v čase  $t$ ,  $\mu$  je očekávaná změna ceny,  $P_{t-1}$  je cena aktiva v čase  $t-1$ ,  $\varepsilon_t$  jsou přírůstky s nulovou střední hodnotou a rozptylem  $\sigma^2$ .

Pokud by platilo, že  $\varepsilon_t$  jsou nezávislé přírůstky, které mají normální rozdělení  $N(0, \sigma^2)$ , potom rovnice (3.5) je také vyjádřením aritmetického Brownova pohybu. Pomocí tohoto předpokladu sice dochází ke zjednodušení výpočtů, avšak je zde stále problém v podobě existence pravděpodobnosti záporných cen, což v praxi není možné. Proto je vhodnější transformovat ceny na jejich přirozené logaritmy, upravená rovnice (3.5) je potom následující:

$$p_t = \mu + p_{t-1} + \varepsilon_t, \quad \varepsilon_t \sim IID N(0, \sigma^2), \quad (3.6)$$

kde  $p_t$  je přirozený logaritmus ceny aktiva v čase  $t$ ,  $\mu$  je očekávaná změna ceny,  $p_{t-1}$  je přirozený logaritmus ceny aktiva v čase  $t-1$ ,  $\varepsilon_t$  jsou nezávislé přírůstky s normálním rozdělením pravděpodobnosti [4, 26, 15].

Nedostatkem modelu The Random Walk 1 je předpoklad shodného rozdělení přírůstků cen v dlouhém období. Ten však může být odstraněn použitím modelu **The Random Walk 2**. Je zřejmé, že v čase dochází ke změnám ekonomiky, a to jak v ekonomické, tak i v sociální oblasti, jsou vyvíjeny stále nové technologie a přijímána nová regulační opatření. Na základě těchto skutečností jsou ovlivňovány změny cen. Závěrem tedy lze říci, že v dlouhém období nelze očekávat stále stejné rozdělení cenových přírůstků.



Předpoklad tohoto modelu je tedy jednodušší, než u modelu prvního, je jím pouze nezávislost přírůstků cen. První uvedený typ modelu náhodné procházky lze tedy považovat za zvláštní případ The Random Walk 2, který je obecnějšího charakteru. Výhodu tohoto modelu lze zaznamenat například v případě časových řad výnosů, které v čase kolísají, jelikož lze pracovat i s možností heteroskedasticity časové řady  $\varepsilon_t$ .

Nejslabší verzí modelu náhodné procházky je **The Random Walk 3**, v rámci kterého je upuštěno nejen od předpokladu shodného rozdělení přírůstků, ale také od předpokladu jejich nezávislosti. Pomocí tohoto modelu lze zkoumat takové časové řady, ve kterých jsou přírůstky závislé a nekorelované. První dva typy modelu náhodné procházky lze chápat jako speciální případy The Random Walk 3. Pomocí tohoto typu modelu může být například zkoumán proces, pro který platí, že kovariance přírůstků cen v čase je nulová a zároveň kovariance druhých mocnin těchto přírůstků je nenulová. Tím je vyjádřena skutečnost, že přírůstky nejsou nezávislé. Matematický zápis výše uvedeného je následující:

$$\text{Cov}[\varepsilon_t, \varepsilon_{t-k}] = 0, \text{ pro } k \neq 0, \quad (3.7)$$

a současně

$$\text{Cov}[\varepsilon_t^2, \varepsilon_{t-k}^2] \neq 0, \text{ pro } k \neq 0, \quad (3.8)$$

kde  $\text{Cov}[\varepsilon_t, \varepsilon_{t-k}]$  je kovariance přírůstků cen v čase.

## 3.2 Lineární metody testování slabé formy efektivnosti

Obsahem této kapitoly je popis vybraných lineárních testů, které jsou používány pro testování výše uvedených modelů náhodné procházky. Prvním uvedeným je test sekvencí a zvrátů, v rámci kterého jsou srovnávány sekvence a zvraty v časových řadách. V případě existence extrémních hodnot v analyzované časové řadě, díky kterým může dojít ke zkreslení výsledků, je vhodné použít runs test. Dále je popsán princip autokorelační analýzy, v rámci které jsou pro testování používány autokorelační funkce (ACF) a parciálně autokorelační funkce (PACF). Následně je charakterizován Portmanteau test, nazýván též Box – Pierce test a princip  $Q$ -statistiky a dále také Ljung-Box test. Posledním zvoleným testem, který bude v rámci této kapitoly popsán, je test poměrem rozptylů.

### 3.2.1 Test sekvencí a zvrátů

Test sekvencí a zvrátů je používán pro testování hypotézy náhodné procházky typu 1. Nulová a alternativní hypotéza jsou v tomto případě následující:

$H_0$ : denní výnosy jsou nezávislé,

$H_1$ : denní výnosy nejsou nezávislé.

Nejprve bude jako výchozí použit vzorec (3.6) použitý při popisu The Random Walk 1, avšak bez očekávané změny ceny ( $\mu$ ). Takto upravený vzorec má následující tvar:

$$p_t = p_{t-1} + \varepsilon_t, \quad \varepsilon_t \sim IID N(0, \sigma^2), \quad (3.9)$$

kde  $p_t$  je přirozený logaritmus ceny aktiva v čase  $t$ ,  $p_{t-1}$  je přirozený logaritmus ceny aktiva v čase  $t-1$ ,  $\varepsilon_t$  jsou nezávislé přírůstky s normálním rozdělením pravděpodobnosti.

Potom platí, že:

$$I_t = 1, \text{ pokud } r_t \equiv p_t - p_{t-1} > 0, \quad (3.10)$$

$$I_t = 0, \text{ pokud } r_t \equiv p_t - p_{t-1} \leq 0, \quad (3.11)$$

kde  $I_t$  je náhodná veličina v čase  $t$ ,  $r_t$  je výnos z cenného papíru,  $p_t$  a  $p_{t-1}$  jsou přirozené logaritmy ceny cenného papíru v čase  $t$  a  $t-1$ .

Při použití tohoto testu je vycházeno z časové řady výnosů cenných papírů, přičemž jsou srovnávány frekvence sekvencí a zvrátů. Pro upřesnění je třeba definovat, co jednotlivé pojmy znamenají. V případě, že dva po sobě jdoucí výnosy mají stejná znaménka, jedná se o sekvenci, pokud jsou znaménka opačná, došlo ke zvratu. Počet sekvencí a zvrátů lze vyjádřit jako:

$$N_s \equiv \sum_{t=1}^T Y_t, \text{ přičemž } Y_t \equiv I_t I_{t+1} + (1 - I_t)(1 - I_{t+1}), \quad (3.12)$$

$$N_r \equiv T - N_s, \quad (3.13)$$

kde  $N_s$  je počet sekvencí,  $T$  je délka zvolené časové řady,  $I_t$  a  $I_{t+1}$  jsou náhodné veličiny v čase  $t$  a  $t+1$ ,  $N_r$  je počet zvrátů v časové řadě.

Pokud by byla úvaha ještě dále rozšířena o předpoklad symetrického rozdělení nezávislých přírůstků  $\varepsilon_t$ , potom by pravděpodobnost kladných či záporných po sobě jdoucích výnosů, neboli pravděpodobnost sekvencí a zvrátů, byla stejná, a to ve výši 50 %. V takovém případě by mělo platit, že:

$$CJ \equiv \frac{N_s}{N_r} \xrightarrow{pr} \frac{\pi_s}{\pi_r} = \frac{\pi_s}{1-\pi_s} = \frac{1/2}{1/2} = 1, \quad (3.14)$$

kde  $CJ$  je Cowles-Jonesův poměr,  $N_s$  je počet sekvencí,  $N_r$  je počet zvrátů,  $\xrightarrow{pr}$  je označení pro konvergenci v pravděpodobnosti,  $\pi_s$  je pravděpodobnost vzniku sekvence,  $\pi_r$  je pravděpodobnost, že dojde ke zvratu.

Avšak vzhledem k tomu, že při zkoumání časových řad akciových výnosů bylo zjištěno, že tento  $CJ$  poměr byl často vyšší než hodnota 1, je vhodnější uvažovat ve výpočtech také očekávanou změnu ceny  $\mu$ , která až dosud nebyla do předpokladů zahrnuta. V takovém případě bude pravděpodobnost výskytu sekvence vyšší než pravděpodobnost, že dojde ke zvratu a tudíž  $CJ$  poměr bude dosahovat hodnot vyšších než 1. Upravený výchozí vzorec vypadá následovně:

$$p_t = \mu + p_{t-1} + \varepsilon_t, \quad \varepsilon_t \sim IID N(0, \sigma^2), \quad (3.15)$$

kde  $p_t$  je přirozený logaritmus ceny aktiva v čase  $t$ ,  $\mu$  je očekávaná změna ceny,  $p_{t-1}$  je přirozený logaritmus ceny aktiva v čase  $t-1$ ,  $\varepsilon_t$  jsou nezávislé přírůstky s normálním rozdělením pravděpodobnosti. Dále platí, že:

$$I_t = 1 \text{ s pravděpodobností } \pi, \quad (3.16)$$

$$I_t = 0 \text{ s pravděpodobností } 1 - \pi, \quad (3.17)$$

$$\pi \equiv \Pr(r_t > 0) = \Phi\left(\frac{\mu}{\sigma}\right), \quad (3.18)$$

kde  $I_t$  je náhodná veličina v čase  $t$ ,  $\pi$  je pravděpodobnost,  $r_t$  je výnos z cenného papíru,  $\Phi$  je distribuční funkce normálního rozdělení,  $\mu$  je střední hodnota a  $\sigma$  je směrodatná odchylka.

V případě, že bude očekávaná změna ceny pozitivní, bude pravděpodobnost větší než 50 % a naopak, pokud bude negativní, bude pravděpodobnost menší než 50 %. Nyní lze  $CJ$  poměr vypočítat takto:

$$CJ = \frac{\pi^2 + (1-\pi)^2}{2\pi(1-\pi)} \geq 1, \quad (3.19)$$

kde  $\pi$  je pravděpodobnost.

V rámci výpočtů bude uvažována 5% hladina významnosti a nulová hypotéza bude zamítnuta v případě platnosti následujícího vzorce:

$$(CJ - 1) / (4 / N)^{1/2} \geq u_{(1-\alpha/2)}, \quad (3.20)$$

kde  $CJ$  je Cowles-Jonesův poměr,  $N$  je součet počtu sekvencí a zvrátů,  $u_{(1-\alpha/2)}$  je kritická hodnota normálního rozdělení a  $\alpha$  je hladina významnosti [4, 26].

### 3.2.2 Runs test

Runs test je také používán při testování náhodné procházky typu 1. Výhodou tohoto typu testů je odstranění problémů, které jsou spojeny s existencí extrémních hodnot mezi jednotlivými pozorováními v časové řadě, jelikož při jejich výskytu může dojít k nadhodnocení či naopak podhodnocení korelačního koeficientu. Důsledkem této skutečnosti by bylo narušení vypovídací schopnosti testu a výsledek by byl zkreslen.

Principem tohoto testu je porovnání dosažených výsledků u skutečného souboru a u souboru simulovaného. Je třeba sledovat změny jednotlivých veličin v časové řadě a v případě, že hodnota veličiny je vyšší než v minulém období, zapíše se znaménko plus (+), pokud dojde ke snížení hodnoty, zapíše se znaménko mínus (-). Jinými slovy, jsou zde sledovány pozitivní a negativní runy. V případě, že nedojde ke změně hodnoty, lze zapsat číslo 0, v rámci této práce však bude použita metoda, při které nejsou tyto nulové změny zohledňovány. Pokud by tedy například byly zachyceny změny ++----+++, znamenalo by to, že se v námi zvolené časové řadě vyskytují celkem tři runy, a to dva kladné o délkách dva a tři a jeden záporný o délce čtyři.

Nulová a alternativní hypotéza jsou v tomto případě následující:

$H_0$ : změny cen jsou nezávislé,

$H_1$ : změny cen nejsou nezávislé,

příčemž v případě platnosti nulové hypotézy jsou počty runů u skutečného a simulovaného souboru shodné a lze potvrdit existenci slabé formy efektivnosti trhu. Pokud však na základě výsledků dojde k potvrzení alternativní hypotézy, existence efektivnosti trhu je vyvrácena, jelikož mezi cenovými změnami se vyskytuje závislost. V případě, že je počet runů ve skutečném souboru nižší než v simulovaném, lze hovořit o pozitivní korelaci, v opačném případě se jedná o korelaci negativní.

Pokud je počet kladných i záporných runů větší než deset, pak pro střední hodnotu počtu runů platí, že rozdělení pravděpodobnosti je normální, přičemž:

$$E(R) = \frac{2N_1N_2}{N} + 1, \quad (3.21)$$

$$\sigma_R^2 = \frac{2N_1N_2(2N_1N_2 - N)}{(N)^2(N-1)}, \quad (3.22)$$

kde  $E(R)$  je střední hodnota počtu runů,  $N_1$  je počet pozitivních změn v časové řadě,  $N_2$  je počet negativních změn v časové řadě,  $\sigma_R^2$  je rozptyl počtu runů a  $N$  je součet pozitivních a negativních runů.

V rámci této práce bude uvažována hladina významnosti ve výši 5 %, pokud tedy bude počet runů ležet uvnitř 95% intervalu spolehlivosti, bude nulová hypotéza přijata, v opačném případě bude zamítnuta. Matematický zápis uvedeného je následující:

$$\Pr[E(R) - 1,96\sigma_R \leq R \leq E(R) + 1,96\sigma_R] = 0,95, \quad (3.23)$$

kde  $Pr$  je označení pro pravděpodobnost,  $E(R)$  je střední hodnota počtu runů,  $\sigma_R$  je směrodatná odchylka počtu runů a  $R$  je počet runů [4, 7, 21].

### 3.2.3 Autokorelační analýza

Zkoumání autokorelačních koeficientů je používáno pro testování náhodné procházky typu 3. Jsou testovány takové časové řady, v rámci kterých jsou přírůstky závislé a nekorelované. Dále budou popsány funkce, které se k tomuto testování používají, jedná se o autokorelační funkci (ACF) a parciálně autokorelační funkci (PACF).

Arlt (1994, s. 138) uvádí, že „autokorelační funkce nám dává informaci o síle závislosti mezi veličinami  $X_t$  a  $X_{t+k}$  bez ohledu na vliv ostatních veličin ležících mezi nimi“. V rámci testování je třeba stanovit nulovou a alternativní hypotézu. V případě nulové hypotézy je předpokládáno, že koeficient autokorelace  $k$ -tého řádu je roven 0, u alternativní hypotézy se tato rovnost nepředpokládá. V případě platnosti nulové hypotézy lze potvrdit existenci efektivního trhu. Matematicky lze zapsat výše uvedené takto:

$$H_0 : \rho_k = 0,$$

$$H_1 : \rho_k \neq 0,$$

kde  $\rho_k$  je autokorelační koeficient  $k$ -tého řádu.

Pro výpočet autokorelačního koeficientu lze využít následující vzorec:

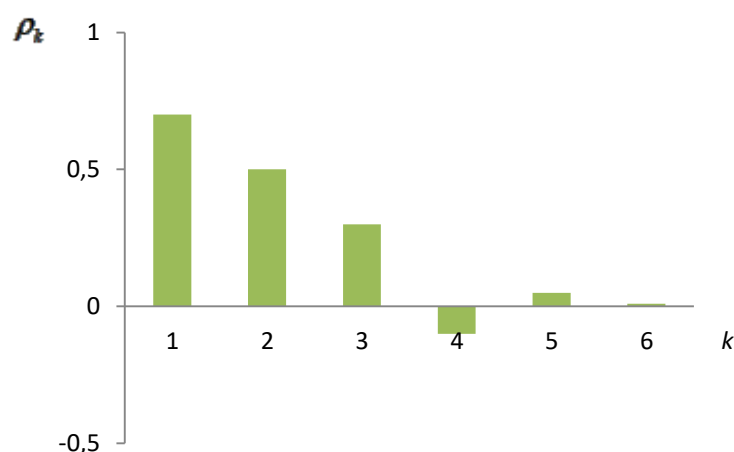
$$\rho_k = \frac{\gamma_k}{\gamma_0} = \frac{\gamma_k}{\sigma_y^2} = \frac{\text{cov}(y_t, y_{t+k})}{\sqrt{\text{var}(y_t)}\sqrt{\text{var}(y_{t+k})}} = \text{corr}(y_t, y_{t+k}), \quad (3.24)$$

pro  $k \geq 1$ ,

kde  $\rho_k$  je autokorelační koeficient  $k$ -tého řádu, který nabývá hodnot od -1 do 1,  $\gamma_k = \text{cov}(y_t, y_{t+k})$  je tzv. autokovarianční funkce, pro kterou je v tomto případě typická symetričnost,  $\gamma_0 = \sigma_y^2 = \sqrt{\text{var}(y_t)}\sqrt{\text{var}(y_{t+k})}$  je rozptyl jednotlivých pozorování časové řady, přičemž platí, že  $\sigma_{y_t} = \sigma_{y_{t+k}}$ .

Autokorelační funkci lze vyjádřit pro lepší představu také graficky, k čemuž se využívá tzv. korelogram. Jednoduchý příklad korelogramu je znázorněn v grafu 3.1:

Graf 3.1 Příklad korelogramu ACF



Zdroj: vlastní zpracování

V určitých situacích je analyzována síla závislosti mezi veličinami  $X_t$  a  $X_{t+k}$ , avšak je nutné zároveň uvažovat také existenci ostatních veličin, které leží mezi nimi a odstranit jejich vliv na veličiny, které jsou předmětem zkoumání. V takovém případě je možné použít parciální autokorelační funkci (PACF), kterou lze matematicky vyjádřit takto:

$$P_k = \frac{\text{cov}[(y_t - \hat{y}_t), (y_{t+k} - \hat{y}_{t+k})]}{\sqrt{\text{var}(y_t - \hat{y}_t)}\sqrt{\text{var}(y_{t+k} - \hat{y}_{t+k})}}, \quad (3.25)$$

kdy

$$\hat{y}_{t+k} = \alpha_1 y_{t+k-1} + \alpha_2 y_{t+k-2} + \dots + \alpha_{k-1} y_{t+1}, \quad (3.26)$$

$$\hat{y}_t = \beta_1 y_{t+1} + \beta_2 y_{t+2} + \dots + \beta_{k-1} y_{t+k-1}, \quad (3.27)$$

kde  $P_k$  je parciální autokorelační koeficient  $k$ -tého řádu,  $y_t$  jsou jednotlivá pozorování časové řady,  $\hat{y}_{t+k}$  je nejlepší lineární odhad veličiny  $y_{t+k}$ ,  $\hat{y}_t$  je nejlepší lineární odhad veličiny  $y_t$ ,  $\alpha_i$  a  $\beta_i$  jsou odhady získané metodou nejmenších čtverců [4, 5, 12, 14, 19].

### 3.2.4 Portmanteau test

Tento test je také řazen mezi testy modelu náhodné procházky typu 3 a bývá též nazýván Box - Pierce test, podle jmen autorů. Je při něm využívána testovací statistika  $Q$ , pomocí které je testována hypotéza, že všechny koeficienty autokorelace jsou současně rovny nule. Nejprve je tedy třeba matematicky formulovat nulovou a alternativní hypotézu:

$$H_0 : \rho_1 = \rho_2 = \dots = \rho_m = 0,$$

$$H_1 : \rho_1 \neq 0 \vee \rho_2 \neq 0 \vee \dots \vee \rho_m \neq 0,$$

kde  $\rho$  je koeficient autokorelace.

Dalším krokem je výpočet  $Q$ -statistiky, k čemuž lze využít následující vzorec:

$$Q = n \sum_{k=1}^m \hat{\rho}_k^2, \quad (3.28)$$

kde  $Q$  je hodnota  $Q$ -statistiky,  $n$  je počet pozorování,  $m$  je délka zpoždění,  $\hat{\rho}_k^2$  je čtverec koeficientů autokorelace reziduí  $k$ -tého řádu.

Použitím druhých mocnin je zabráněno vzájemnému vyrušení odchylek od nuly v různých směrech. Při platnosti nulové hypotézy, tedy v případě, kdy jsou všechny koeficienty autokorelace současně nulové, je pro  $Q$ -statistiku typické asymptotické chí-kvadrát ( $\chi^2$ ) rozdělení s  $m$  stupni volnosti. V případě, že vypočtená hodnota  $Q$ -statistiky je větší než hodnota kritická, je nulová hypotéza zamítnuta. Platí tedy, že alespoň jeden koeficient autokorelace je nenulový.

Problém tohoto testu se může projevit v případě malých nebo středně velkých pozorování, kdy rozdělení  $Q$ -statistiky nemusí odpovídat  $\chi^2$  rozdělení. Proto byl tento test dále upravován a byl vytvořen **Ljung-Box test**, který je opět pojmenován podle autorů,

kterými jsou G. M. Ljung a G. E. P. Box. Tento test je vhodný zejména pro menší vzorky dat a při jeho použití se vychází z  $LB$ -statistiky:

$$Q_{LB} = n(n+2) \sum_{k=1}^m \left( \frac{\hat{\rho}_k^2}{n-k} \right), \quad (3.29)$$

kde  $Q_{LB}$  je vypočtená hodnota  $LB$ -statistiky,  $n$  je počet pozorování,  $\hat{\rho}_k^2$  je čtverec koeficientů autokorelace reziduí  $k$ -tého řádu a  $k$  je označení pro řád.

Hypotézy tohoto testu jsou stejné jako u Box-Pierce testu a v případě platnosti nulové hypotézy je pro  $LB$ -statistiku opět typické asymptotické  $\chi^2$  rozdělení [4, 7, 11, 18, 19].

### 3.2.5 Test poměrem rozptylů

Test poměrem rozptylů lze použít pro testování všech tří typů náhodné procházky. Nejprve je třeba stanovit nulovou a alternativní hypotézu, které lze popsat následovně:

$H_0$ : časová řada logaritmických výnosů splňuje hypotézu náhodné procházky,

$H_1$ : časová řada logaritmických výnosů nesplňuje hypotézu náhodné procházky.

Aby nulová hypotéza mohla být potvrzena, je třeba otestovat rozptyl  $q$ -tých diferencí časových řad logaritmických uzavíracích akciových kurzů. S rostoucím řádem  $q$ -té difference by se hodnota tohoto rozptylu měla zvyšovat. Poměr rozptylů lze matematicky zapsat takto:

$$VR(q) = \frac{\sigma^2(q)}{\sigma^2(1)}, \text{ kde} \quad (3.30)$$

$$\sigma^2(q) = \frac{1}{m} \sum_{t=q}^{nq} (\ln P_t - \ln P_{t-q} - q\hat{\mu})^2, \quad (3.31)$$

$$\sigma^2(1) = \frac{1}{nq-1} \sum_{t=1}^{nq} (\ln P_t - \ln P_{t-1} - \hat{\mu})^2, \quad (3.32)$$

přičemž platí, že

$$m = q(nq - q + 1) \left( 1 - \frac{q}{nq} \right), \quad (3.33)$$

$$\hat{\mu} = \frac{1}{nq} (\ln P_{nq} - \ln P_0), \quad (3.34)$$

kde  $VR(q)$  je podíl rozptylů,  $\sigma^2(q)$  je rozptyl  $q$ -tých diferencí vydělený  $q$ ,  $\sigma^2(1)$  je rozptyl první difference,  $n$  je počet údajů v časové řadě,  $P_t$  je uzavírací kurz akcie v čase  $t$ ,  $P_{nq}$  a  $P_0$  jsou postupně poslední a první údaj v časové řadě.



Dále je třeba stanovit testovací statistiku v závislosti na tom, který typ náhodné procházky je testován. Stanovení testovací statistiky je odvozeno od předpokladu, kdy při potvrzení nulové hypotézy by mělo platit, že hodnota podílu rozptylů se blíží jedné. Testovací statistiku pro testování náhodné procházky typu 1 lze vypočítat dle následujícího vzorce:

$$z(q) = \frac{VR(q)-1}{\sqrt{\Phi(q)}} \sim N(0,1), \text{ kde} \quad (3.35)$$

$$\Phi(q) = \frac{2(2q-1)(q-1)}{3q(nq)}, \quad (3.36)$$

kde  $z(q)$  je hodnota testovací statistiky,  $VR(q)$  je podíl rozptylů vypočtený dle vzorce (3.30),  $q$  je řád difference,  $n$  je počet dat v časové řadě.

Vzorec pro výpočet testovací statistiky pro testování náhodné procházky typu 2 a 3 je potom následující:

$$z'(q) = \frac{VR(q)-1}{\sqrt{\Phi'(q)}} \sim N(0,1), \quad (3.37)$$

$$\Phi'(q) = \sum_{j=1}^{q-1} \left[ \frac{2(q-j)}{q} \right]^2 \hat{\delta}(j), \quad (3.38)$$

přičemž

$$\hat{\delta}(j) = \frac{\sum_{t=j+1}^{nq} (\ln P_t - \ln P_{t-1} - \hat{\mu})^2 (\ln P_{t-j} - \ln P_{t-j-1} - \hat{\mu})^2}{\sum_{t=1}^{nq} \left[ (\ln P_t - \ln P_{t-1} - \hat{\mu})^2 \right]^2}, \quad (3.39)$$

kde  $z'(q)$  je hodnota testovací statistiky,  $VR(q)$  je podíl rozptylů vypočtený dle vzorce (3.30),  $q$  je řád difference,  $P_t$  je uzavírací kurz akcie v čase  $t$ ,  $\hat{\mu}$  je hodnota vypočtená dle vzorce (3.34) [26, 34].

### 3.3 Nelineární metody testování slabé formy efektivnosti

Vzhledem ke skutečnosti, že nelze vždy přepokládat existenci lineární závislosti výnosů v časové řadě, je třeba využít pro testování slabé formy efektivnosti také nelineární metody. Dále je uveden popis vybraných nelineárních metod, přičemž pro tuto část byly zvoleny celkem tři testy, a to BDS test, ARCH test a Whiteův test. Nejprve je uveden postup při použití BDS testu, který je používán pro testování odchylek od nezávislosti jednotlivých

pozorování v časové řadě. Následně je popsán princip testování autoregresní podmíněné heteroskedasticity, neboli zkráceně ARCH testu. Posledním vybraným nelineárním testem je Whiteův test, jehož použití je spojeno s testováním heteroskedasticity náhodných složek či reziduí.

### 3.3.1 BDS test

BDS test je pojmenován dle jmen jeho tvůrců, kterými byli W. A. Brock, W. Dechert a J. Scheinkman a je řazen mezi testy náhodné procházky typu 1. Je používán pro testování možných odchylek od nezávislosti jednotlivých dat, ze kterých je časová řada složena. Nulová hypotéza, při nespécifikované alternativní hypotéze, má tedy následující znění:

$H_0$ : data jsou nezávislá a mají stejné rozdělení pravděpodobnosti.

V případě platnosti nulové hypotézy lze předpokládat, že:

$$c_m(\varepsilon) = (c_1(\varepsilon))^m, \text{ přičemž } \varepsilon > 0, \quad (3.40)$$

kde  $c_m(\varepsilon)$  je sdružená pravděpodobnost, že vzdálenost v absolutní hodnotě mezi dvojicemi dat časové řady nepřesáhne zvolenou vzdálenost  $\varepsilon$ ,  $m$  je označení pro dimenze vnoření, přičemž jsou uvažovány dvojice, které jsou časově seřazeny:

$$\{e_i, e_j\}, \{e_{i+1}, e_{j+1}\}, \dots, \{e_{i+m-1}, e_{j+m-1}\}, \quad (3.41)$$

$$|e_i - e_j| \leq \varepsilon,$$

kde  $e_i$  je  $i$ -tý údaj v časové řadě,  $e_j$  je  $j$ -tý údaj v časové řadě a  $\varepsilon$  je zvolená vzdálenost.

Dále je třeba vypočítat BDS statistiku, k čemuž může být použit tento vzorec:

$$BDS_{m,n}(\varepsilon) = \sqrt{n} \frac{C_{m,n}(\varepsilon) - C_{1,n}(\varepsilon)^m}{\hat{\sigma}_{m,n}(\varepsilon)}, \quad (3.42)$$

$$\sigma_{N,m}^2(\varepsilon) = 4 \left( (k_N(\varepsilon))^m + 2 \sum_{l=1}^{m-1} (k_N(\varepsilon))^{m-l} (c_{1,N}(\varepsilon))^{2l} + (m-1)^2 (c_{1,N}(\varepsilon))^{2m} - m^2 k_N(\varepsilon) (c_{1,N}(\varepsilon))^{2m-2} \right), \quad (3.43)$$

$$k_N(\varepsilon) = \frac{2}{N(N-1)(N-2)} \sum_{n=1}^N \sum_{i=n+1}^N \sum_{j=i+1}^N (I_\varepsilon(e_n, e_i) I_\varepsilon(e_i, e_j) + I_\varepsilon(e_n, e_j) I_\varepsilon(e_j, e_i) + I_\varepsilon(e_i, e_n) I_\varepsilon(e_n, e_j)), \quad (3.44)$$

kde  $n$  je celkový počet dat v časové řadě,  $C_{m,n}(\varepsilon)$  je sdružená pravděpodobnost, že vzdálenost v absolutní hodnotě mezi dvojicemi dat časové řady nepřesáhne zvolenou vzdálenost  $\varepsilon$ ,  $\hat{\sigma}_{m,n}(\varepsilon)$  je odhad asymptotické směrodatné odchylky.

Na závěr je nutné porovnat testovací statistiku s kritickou hodnotou. V případě, že je mezi těmito dvěma hodnotami rovnost, není nulová hypotéza zamítnuta a platí tedy, že data jsou nezávislá a mají stejné rozdělení pravděpodobnosti [4, 5].

### 3.3.2 ARCH test

Další nelineární metodou používanou k testování slabé formy efektivnosti trhu je ARCH test neboli test autoregresní podmíněné heteroskedasticity (Autoregressive conditional heteroskedasticity), který slouží pro testování náhodné procházky typu 2 a 3. Hušek (2009, s. 309) tvrdí, že „*je-li rozptyl časové řady závislý na minulosti, jde o podmíněnou heteroskedastickou řadu. Lze-li tuto závislost vyjádřit autoregresí, označujeme model jako ARCH*“. Tento test bývá také někdy nazýván Engleův, podle jména jeho tvůrce. Mezi předpoklady ARCH testu patří proměnlivost volatility časových řad v čase a dále také závislost volatility na čtvercích minulých chyb v předpovědích. Nulová a alternativní hypotéza jsou následující:

$$H_0 : \alpha_1 = \alpha_2 = \dots = \alpha_q = 0,$$

$$H_1 : \alpha_1 \neq 0 \vee \alpha_2 \neq 0 \vee \dots \vee \alpha_q \neq 0,$$

kde  $\alpha$  je označení pro parametr rovnice.

V případě platnosti nulové hypotézy, kdy jsou všechny parametry simultánně nulové, je podmíněný rozptyl v čase neměnný, časová řada je tedy homoskedastická. V případě platnosti alternativní hypotézy lze potvrdit existenci heteroskedasticity. V rovnici níže je dále uvedeno matematické vyjádření podmíněného rozptylu:

$$\sigma_t^2 = \alpha_0 + \sum_{i=1}^q \alpha_i \varepsilon_{t-i}^2, \quad (3.45)$$

$$\text{kdy } \alpha_0 \geq 0 \text{ a } \alpha_i \geq 0, \text{ pro } i = 1, 2, \dots, q,$$

kde  $\sigma_t^2$  je rozptyl podmíněný dostupností informací v čase  $t$ ,  $\alpha_0, \alpha_i$  jsou parametry dané rovnice a  $\varepsilon_{t-i}^2$  je označení pro minulé chyby v předpovědích.

Problém tohoto testu se může vyskytnout v případě, kdy jsou některé parametry odhadnuty se záporným znaménkem, jelikož by byla porušena podmínka  $\alpha_0 \geq 0$  a  $\alpha_i \geq 0$ , pro  $i = 1, 2, \dots, q$ . Čím více parametrů je tedy v testu použito, tím je větší pravděpodobnost porušení této podmínky. Další nedostatek souvisí s uvedeným předpokladem závislosti

volatility na čtvercích dřívějších předpovědních chyb, jelikož to znamená, že efekt jak pozitivních, tak také negativních šoků na volatilitu je shodný, což v praxi vždy neplatí [5, 10, 11, 19].

### 3.3.3 Whiteův test

Whiteův test je řazen mezi testy náhodné procházky typu 2 a 3 a je používán pro testování heteroskedasticity náhodných složek či reziduí. Pro jeho použití je nezbytné, aby zvolená časová řada byla složena alespoň ze třiceti dat. Není už zde však kladen důraz na normalitu a konstantní a konečný rozptyl, avšak v modelu nesmí existovat korelace mezi čtverci reziduí  $e_i^2$  a regresory  $X_j$ , čtverci regresorů  $X_j^2$  ani jejich párovými součiny  $X_j \cdot X_k$ . V rámci tohoto testu je třeba vytvořit pomocný model. Pokud by tedy například zkoumaný model měl tvar dle rovnice (3.46) potom by pomocný model měl tvar uvedený v rovnici (3.47).

$$Y_t = \beta_1 + \beta_2 X_{2t} + \beta_3 X_{3t} + \varepsilon_t, \quad t = 1, \dots, T, \quad (3.46)$$

$$\hat{\varepsilon}_t^2 = \alpha_1 + \alpha_2 X_{2t} + \alpha_3 X_{3t} + \alpha_4 X_{2t}^2 + \alpha_5 X_{3t}^2 + \alpha_6 X_{2t} X_{3t} + u_t, \quad (3.47)$$

kde  $Y_t$  je časová řada vysvětlované proměnné,  $\beta_i$  jsou parametry modelu,  $X_{it}$  jsou časové řady regresorů,  $\varepsilon_t$  je označení pro náhodnou složku,  $\hat{\varepsilon}_t^2$  je odhad čtverců náhodné složky,  $\alpha_i$  jsou parametry pomocného modelu a  $u_t$  je náhodná složka pomocného modelu.

V rámci pomocného modelu je předpokládáno, že neexistuje závislost mezi náhodnými složkami  $u_t$  a  $\varepsilon_t$ , a zároveň pro náhodnou složku  $u_t$  platí normální rozdělení pravděpodobnosti. Principem modelu je testování, zda jsou změny rozptylu původních chyb závislé na regresorech výchozího modelu. Nulová a alternativní hypotéza mají v rámci uvedeného příkladu následující podobu:

$$H_0 : \alpha_2 = \alpha_3 = \alpha_4 = \alpha_5 = \alpha_6 = 0,$$

$$H_1 : \alpha_2 \neq 0 \vee \alpha_3 \neq 0 \vee \alpha_4 \neq 0 \vee \alpha_5 \neq 0 \vee \alpha_6 \neq 0,$$

kde  $\alpha_i$  jsou parametry pomocného modelu.

V případě přijetí nulové hypotézy jsou všechny parametry v pomocném modelu simultánně nulové a statisticky nevýznamné, lze tedy potvrdit existenci homoskedasticity.

Pokud je některý z těchto parametrů nenulový, potom je přijata alternativní hypotéza a lze předpokládat, že změny rozptylu původních chyb jsou závislé na některém z regresorů výchozího modelu. To, která hypotéza bude přijata lze určit na základě porovnání koeficientu determinace v pomocném modelu a kritické hodnoty chí-kvadrát statistiky. Porovnání je prováděno na zvolené hladině významnosti. Pokud je součin počtu pozorování a koeficientu determinace menší nebo roven kritické hodnotě, je přijata nulová hypotéza a naopak:

$$n \cdot R^2 \leq \chi^2_{\alpha}(q), \quad (3.48)$$

$$q = \frac{k(k+1)}{2} - 1, \quad (3.49)$$

kde  $n$  je počet pozorování,  $R^2$  je koeficient determinace v pomocném modelu,  $\alpha$  je zvolená hladina významnosti,  $q$  je počet stupňů volnosti,  $k$  je počet parametrů včetně úrovně konstanty [5, 7, 11].

### 3.4 Potenciální problémy testování efektivnosti

Při testování efektivnosti trhu je vycházeno z časových řad, které jsou v tomto případě tvořeny hodnotami akciových indexů jednotlivých trhů. Nejprve je třeba definovat, co to časová řada je. Arlt (1994, s. 7) ji definuje jako „*posloupnost hodnot určitého statistického znaku (ukazatele) uspořádaná v čase, a to zpravidla ve směru minulost-přítomnost*“. Postupně je třeba testovat, zda chování daných časových řad odpovídá předpokladům. Mezi základní předpoklady jsou řazeny předpoklad normality a linearity finančních časových řad. V závěru kapitoly bude ještě popsán princip efektu nesynchronního obchodování.

#### 3.4.1 Normalita časových řad

V případě potvrzení normality časových řad platí, že rozdělení pravděpodobnosti logaritmů výnosů je normální, což znamená, že střední hodnota i rozptyl jsou konstantní. Dalšími důležitými charakteristikami normality jsou pojmy šikmost a špičatost. Šikmost se používá pro zjištění asymetričnosti dat a pro výpočet lze použít následující vzorec:

$$S_r = E \left[ \frac{(r_t - \mu)^3}{\sigma_r^3} \right], \quad (3.50)$$

kde  $S_r$  je šikmost,  $E$  je označení pro střední hodnotu,  $r_t$  jsou logaritmy výnosů v čase  $t$ ,  $\mu$  je střední hodnota,  $\sigma_r$  je směrodatná odchylka, kterou lze vyjádřit pomocí odmocniny z rozptylu.

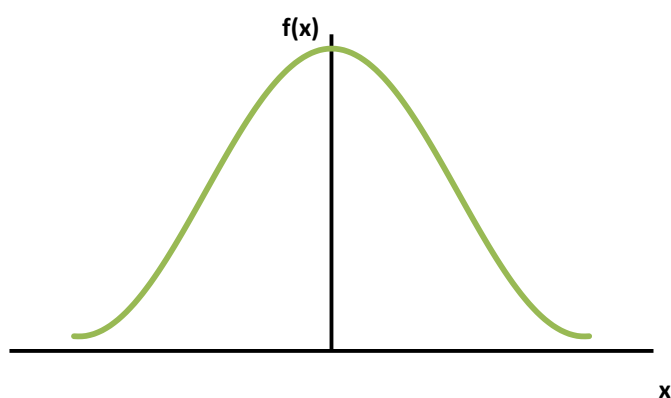
Dále je třeba určit špičatost rozdělení dle následujícího vzorce:

$$K_r = E \left[ \frac{(r_t - \mu)^4}{\sigma_r^4} \right], \quad (3.51)$$

kde  $K_r$  je špičatost,  $E$  je označení pro střední hodnotu,  $r_t$  jsou logaritmy výnosů v čase  $t$ ,  $\mu$  je střední hodnota,  $\sigma_r$  je směrodatná odchylka.

Vzhledem k předpokladu normálního rozdělení by mělo platit, že šikmost rozdělení pravděpodobnosti je rovna nule a špičatost je rovna číslu tři. Tato uvedená situace je zobrazena v grafu 3.2.

**Graf 3.2 Normální rozdělení pravděpodobnosti**



Zdroj: vlastní zpracování dle Cipra (2013)

V praxi však bylo vysledováno, že u časových řad hodnot burzovních indexů není rozdělení pravděpodobnosti normální, nýbrž je často zešikmené a ve srovnání s normálním rozdělením také špičatější okolo středu. To znamená, že hustota pravděpodobnosti je na koncích vyšší a naopak v ramenech nižší, než je typické pro normální rozdělení. Z tohoto důvodu byl představen návrh tzv. stabilního rozdělení, které by mělo zachycovat chování dat přesněji. U tohoto rozdělení je předpokládán nekonečný rozptyl, tudíž při zvyšování množství dat v souboru se hodnota výběrového rozptylu zvyšuje do nekonečna a tudíž nekonverguje, jak je předpokládáno u normálního rozdělení. Stejná úvaha se týká také

výběrové špičatosti dat. Názory finančních analytiků na tuto problematiku se však liší [1, 5, 9].

### 3.4.2 Linearita časových řad

Dalším předpokladem časových řad je linearita, což Arlt (2003, s. 24) vysvětluje tak, že „*logaritmy výnosů jsou nekorelované stejně rozdělené náhodné veličiny s nulovou střední hodnotou a konstantním rozptylem, nebo nezávislé stejně rozdělené náhodné veličiny s nulovou střední hodnotou a konstantním rozptylem*“. Jelikož se jedná o proces bílého šumu, je v souvislosti s tímto tvrzením nutné zavést také tento pojem. Proces bílého šumu je stochastický proces, jehož střední hodnota i rozptyl jsou konstantní a jednotlivé prvky časové řady jsou navzájem nekorelované. Arlt (1994, s.141) uvádí, že „*proces bílého šumu si lze představit jako proces „čisté náhody“, proces oprostěný od jakýchkoliv systematickostí*“.

Matematicky lze předpoklady linearity zapsat následovně:

$$\text{cov}(r_s, r_t) = 0 \text{ pro } s \neq t, \quad (3.52)$$

$$E(r_t) = 0, \quad (3.53)$$

$$\text{var}(r_t) = \sigma^2, \quad (3.54)$$

kde  $\text{cov}(r_s, r_t)$  je kovariance logaritmů výnosů v různých časech,  $E(r_t)$  je střední hodnota logaritmů výnosů v čase  $t$  a  $\text{var}(r_t)$  je rozptyl logaritmů výnosů.

Avšak ve skutečnosti nemusí být všechny tyto předpoklady dodrženy. Střední hodnota náhodných veličin nemusí dosahovat nulové hodnoty a problém může nastat také v případě existence lineární závislosti mezi jednotlivými logaritmy výnosů, čímž by došlo k porušení předpokladu nekorelovanosti náhodných veličin. Z existence možností porušení předpokladů lze vyvodit skutečnost, že pro analyzování časových řad není někdy možné použít pouze lineární modely. V těchto případech musí být chování časových řad zachyceno pomocí modelů nelineárních [1, 14].

### 3.4.3 Efekt nesynchronního obchodování

Vlastnosti finančních časových řad jsou ovlivňovány různými aspekty. Jedním z velmi důležitých faktorů je efekt nesynchronního obchodování, který souvisí s faktem, že akcie nejsou obchodovány každý den. Ve dnech, kdy se neobchoduje, nemůže být ze strany obchodníků uskutečněna reakce na novou informaci, která byla na trhu zveřejněna. Vzhledem k této skutečnosti může být zjištěna autokorelace mezi jednotlivými daty v časové řadě, avšak tato autokorelace je pouze zdánlivá. Stejného efektu může být docíleno i v případě, kdy jsou změny uzavíracích cen akcií zaznamenávány ve shodných intervalech, jelikož ve skutečnosti jsou tyto intervaly nepravidelné. Uzavírací ceny jsou dány poslední transakcí daného dne, avšak poslední transakce nejsou vždy uskutečňovány ve stejný časový okamžik, tudíž nelze říci, že intervaly jsou v délce 24 hodin. Touto problematikou se zabývali například Lo a MacKinlay, kteří vytvořili model nesynchronního obchodování.

V rámci modelu nesynchronního chování je třeba nejprve vyjádřit virtuální kumulativní výnosy, které slouží pro vyjádření změn ve fundamentální hodnotě cenných papírů:

$$r_{it} = \log \left( \frac{p_{it}}{p_{it-1}} \right), \quad (3.55)$$

kde  $r_{it}$  je virtuální kumulativní výnos cenného papíru  $i$ ,  $p_{it}$  je uzavírací cena cenného papíru  $i$  v čase  $t$  a  $p_{it-1}$  je uzavírací cena cenného papíru  $i$  v čase  $t-1$ .

Velikost  $r_{it}$  je odvíjena od skutečnosti, zda byl daný cenný papír v období  $t$  obchodován či nikoli. Pokud obchodován nebyl, potom je hodnota  $r_{it}$  nulová, jelikož uzavírací ceny v čase  $t$  a  $t-1$  jsou shodné a tedy:

$$r_{it} = \log 1 = 0, \quad (3.56)$$

kde  $r_{it}$  je virtuální kumulativní výnos cenného papíru  $i$ .

Pokud však je daný cenný papír v období  $t$  obchodován, potom velikost virtuálního kumulativního výnosu tohoto cenného papíru je rovna součtu virtuálního výnosu v čase  $t$  a ve všech předchozích po sobě jdoucích obdobích, kdy obchodován nebyl:

$$r_{it} = \sum_{k=0}^{k_t} r_{it-k}, \quad i = 1, \dots, N, \quad (3.57)$$



kde  $r_{it}$  je virtuální kumulativní výnos cenného papíru  $i$ ,  $k$  je počet po sobě jdoucích období, ve kterých nebyl cenný papír obchodován [1, 4].

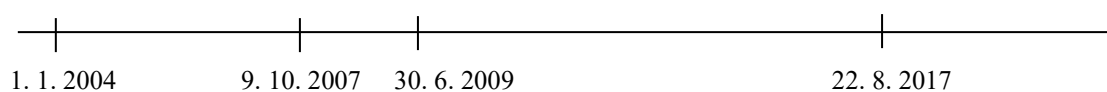
Vzhledem ke zvoleným testům není v rámci této práce normalita časových řad nutným předpokladem. Pokud tedy bude u časových řad hodnot burzovních indexů zjištěno určité zešíkmení, nebude to představovat překážku a zvolené testy bude možné použít. Dalším uvedeným potenciálním problémem bylo porušení linearitý časových řad. Z důvodu možnosti porušení tohoto předpokladu budou pro analyzování časových řad použity jak lineární, tak také nelineární metody.

## 4 Popis vstupních dat a jejich základní statistická analýza

V rámci této kapitoly budou nejprve definována data, která budou dále použita v jednotlivých testech pro ověření, zda lze o trzích říci, že jsou efektivní. Dále bude stanovena délka časové řady těchto údajů a také bude odůvodněno její rozdělení do tří období, a to období před krizí, krizové období a období po krizi. Obsahem následující podkapitoly bude popis hlavních příčin vzniku globální finanční krize a jejího šíření po celém světě. Následně bude pozornost věnována popisu hlavních burz na zvolených trzích, jedná se o newyorskou, londýnskou, pařížskou a frankfurtskou burzu. U každé bude popsán i hlavní index a uvedeny společnosti s největší tržní kapitalizací, které jsou součástí báze daného indexu. Pro jednotlivé indexy bude třeba stanovit a popsat deskriptivní statistiky, jako jsou například střední hodnota, šikmost a špičatost, přičemž u každého indexu bude posouzeno, zda data mají normální rozdělení pravděpodobnosti.

### 4.1 Popis vstupních dat

Cílem této práce je empirické testování slabé formy efektivnosti na zvolených akciových trzích. Pro toto zkoumání byly zvoleny čtyři akciové trhy, u kterých lze předpokládat, že by mohly být výskytem globální finanční krize ovlivněny. Jedná se o tři vyspělé evropské akciové trhy a americký akciový trh jako reprezentant globálního trhu, přičemž všechny jsou reprezentovány nejvýznamnějšími indexy, kterými jsou FTSE 100, CAC 40, DAX a S&P 500. Dále bylo třeba určit časovou linii, po kterou bude efektivnost testována. Jako počátek období byl stanoven rok 2004, jelikož v tomto roce došlo k významné události na evropských trzích, kterou je vstup nových států do Evropské unie. Koncovým obdobím je rok 2017, přičemž v mezích došlo k další významné události na globální úrovni, k finanční krizi. Z toho důvodu, aby nedošlo ke zkreslení výsledných závěrů, byla časová řada rozdělena do tří částí, předkrizového období, krizového období a období po krizi. Pro lepší přehlednost jsou tato období zobrazena v Obr. 4.1:



Obr. 4.1 Zvolené časové období pro testování slabé formy efektivnosti

Zdroj: vlastní zpracování

Za den, kdy došlo k propuknutí krize, je v této práci považován 9. říjen roku 2007. V tomto dni byla dosažena nejvyšší hodnota indexu S&P 500 před obdobím, kdy docházelo dlouhodobě k poklesu. Pro krizové období je typický šok, který souvisí s globální finanční krizí, byla také zaznamenána vyšší volatilita hodnot akciových indexů po celém světě. Ukončení krize je dle amerického národního úřadu pro ekonomické výzkumy NBER (The National Bureau of Economic Research) datováno k 30. červnu roku 2009. Bližší popis globální finanční krize je součástí další podkapitoly.

Celá časová řada je tedy dlouhá necelých 14 let a je v ní obsaženo celkem 4 983 pozorování, která jsou tvořena uzavíracími kurzy akciových indexů k jednotlivým dnům. Z celkového počtu pozorování je 1 378 dat součástí prvního období, 630 je součástí druhého období a třetí období je tvořeno 2 975 pozorováními.

V rámci jednotlivých testů bude třeba převést časové řady uzavíracích kurzů na logaritmické výnosy. Jelikož kurzy akcií nemohou být záporné, výše minimálního jednoduchého výnosu, kterého může být investorem dosaženo je mínus 1, což je uvedeno i v následující rovnici:

$$R_t = \frac{P_t - P_{t-1}}{P_{t-1}} = -1, \quad (4.1)$$

kde  $R_t$  je minimální výnos aktiva, kterého lze dosáhnout v čase  $t$ ,  $P_t$  je cena aktiva v čase  $t$  a  $P_{t-1}$  je cena aktiva v čase  $t-1$ .

Pro výpočet logaritmických výnosů lze tedy použít následující vzorec:

$$r_t = \ln(R_t + 1) = \ln P_t - \ln P_{t-1} = p_t - p_{t-1}, \quad (4.2)$$

kde  $r_t$  je logaritmický výnos aktiva v čase  $t$ ,  $R_t$  je jednoduchý výnos aktiva v čase  $t$ ,  $P_t$  je cena aktiva v čase  $t$ ,  $P_{t-1}$  je cena aktiva v čase  $t-1$ ,  $p_t$  a  $p_{t-1}$  jsou logaritmy cen aktiva v čase  $t$  a  $t-1$ .

Arlt (2003, s. 15) tvrdí, že „za předpokladu logaritmicko-normálního rozdělení jednoduchých výnosů má také celý výnos stejné rozdělení. Jeho logaritmická transformace má normální rozdělení a je rovna součtu k logaritmovaných jednoduchých výnosů“. Uvedenou skutečnost lze vyjádřit matematicky takto:

$$r_t(k) = r_t + r_{t-1} + r_{t-2} + \dots + r_{t-k+1}, \quad (4.3)$$

kde  $r_t(k)$  je logaritmický výnos aktiva za  $k$  období, a to od období  $t-k$  až do období  $t$ ,  $r_t, r_{t-1}, r_{t-2}$  a  $r_{t-k+1}$  jsou logaritmické výnosy aktiva v čase  $t, t-1, t-2$  a  $t-k+1$  [1].

## 4.2 Globální finanční krize

Počátek finanční krize lze datovat do roku 2007, kdy došlo ke krachu dvou hedgeových fondů, které byly spravovány investiční bankou Bear Stearns. V majetku těchto fondů byly cenné papíry kryté hypotékami v hodnotě téměř 10 miliard dolarů. Původ krize lze nalézt na americkém trhu, postupně však došlo k jejímu rozšíření do ekonomik po celém světě. Jednou z příčin vzniku krize byla bublina na americkém trhu nemovitostí. Úrokové sazby u hypotečních úvěrů byly na velice nízké úrovni, což umožňovalo snadnější splácení těchto úvěrů. Vlastní bydlení se tedy stalo dostupnějším a začal se vytvářet prostor pro spekulace. Projevem hypoteční bubliny byly neustále rostoucí ceny nemovitostí, avšak díky nízkým úrokovým sazbám a prodlužování doby splatnosti úvěrů byly měsíční splátky na poměrně nízké úrovni. Dostupnost vlastního bydlení byla podpořena také možností získat hypoteční úvěr ve výši 100 % hodnoty nemovitosti a díky neustále rostoucím cenám nemovitostí někdy i více. Když tedy došlo ke splasknutí bubliny, docházelo k nárůstu úrokových sazeb a poklesům cen nemovitostí, mnoho domácností proto nebylo schopno své úvěry splácet.

S hypoteční bublinou na americkém trhu souvisí také proces zvaný sekuritizace. Pro tento účel byl vytvořen nový finanční nástroj známý pod názvem kolateralizovaná hypoteční obligace. Princip sekuritizace spočíval ve slučování hypotečních úvěrů do balíčků, čímž byly vytvořeny kolateralizované hypoteční obligace. Ty byly děleny do tranší podle rizikovosti úvěrů, které v nich byly obsaženy, přičemž postupem času zde začaly být míchány různě rizikové úvěry. Tranše byly hodnoceny prostřednictvím ratingových agentur. Tyto obligace byly také pojišťovány proti úpadku, což zvyšovalo jejich ratingové ohodnocení. Úvěrová expanze pokračovala dále a úvěry začaly být poskytovány i klientům, u kterých nebyla zjištěna dostatečná bonita, a dříve by tedy úvěr nedostali. O tyto sekuritizované cenné papíry byl postupem času stále větší zájem, až došlo k jejich rozšíření téměř po celém světě.

Problém nastal až v době, kdy došlo ke splasknutí bubliny, což se začalo pomalu projevovat již v roce 2006, kdy došlo k nárůstu úrokových sazeb. Tato skutečnost vedla

ke změně v trendu neustále rostoucích cen domů v některých regionech. Ceny začaly klesat a měsíční splátky úvěrů naopak růst. Na trhu tedy zavládl strach z rozšíření tohoto stavu z jednotlivých regionů do celé ekonomiky. Prvním otřesem trhu se stal již zmíněný krach hedgeových fondů. Bylo třeba se zamyslet nad tím, že již nebylo v silách investorů odhadnout rizika spojená s mnoha sekuritizovanými cennými papíry a na trhu tedy zavládla panika. Došlo k velkému poklesu množství poskytovaných úvěrů a zároveň z důvodu vyšších splátek nebylo mnoho domácností schopno úvěry dále splácet. Hodnota nemovitosti již ale byla často mnohem nižší než částka poskytnutého úvěru a tudíž banky nebyly schopny pokrýt prodejem zastavených nemovitostí ztráty. Docházelo ke krachu některých bank a pojišťovatelů dluhopisů.

V důsledku toho všeho bylo třeba ekonomiku podpořit a byl přijat Paulsonův plán na záchranu finančního systému, přičemž plánovaný rozpočet byl 700 miliard dolarů. V rámci tohoto plánu měla být od bank odkupována problémová aktiva. Dále bylo třeba, aby bylo ze stran centrální banky dodáváno do ekonomiky obrovské množství peněz a byly tak poskytovány finanční injekce pro záchranu důležitých podniků. Jak již bylo zmíněno dříve, ukončení krize je dle amerického národního úřadu pro ekonomické výzkumy NBER (The National Bureau of Economic Research) datováno k 30. červnu roku 2009 [6].

### **4.3 Burzy a burzovní indexy**

Pro testování slabé formy efektivnosti trhu byly pro tuto práci zvoleny čtyři akciové indexy obchodované na burzách různých zemí. Jedná se o indexy burz USA, Velké Británie, Francie a Německa. Obsahem této podkapitoly bude stručný popis historie jednotlivých burz, včetně některých zajímavých událostí, ke kterým v průběhu času došlo. Dále budou charakterizovány nejvýznamnější indexy obchodované na těchto burzách, kterými jsou index S&P 500, FTSE 100, CAC 40 a index DAX. Na závěr bude vždy uvedena tabulka s pěti společnostmi s největší tržní kapitalizací v bázi daného indexu.

#### **4.3.1 New York Stock Exchange**

Newyorská burza, známá pod zkratkou NYSE, byla založena v roce 1792, kdy 24 makléřů podepsalo tzv. Buttonwoodskou dohodu. Tato dohoda byla údajně sepsána

pod platanem na ulici Wall Street a jejím obsahem byl závazek scházet se pravidelně za účelem směňování cenných papírů. Oficiálně je však vznik burzy datován až o 25 let později, tedy do roku 1817, kdy byl vznik burzy schválen. Název NYSE se poté začal používat až v roce 1863. Tato burza byla do roku 2006 neziskovou organizací, nyní se jedná o veřejně obchodovatelnou společnost. Významným symbolem newyorské burzy je elektricky ovládaný zvon, kterým je oznamováno každodenní zahájení obchodování, stejně jako jeho ukončení. Zajímavostí je, že prvním hostem, který na tento zvon zazvonil, byl desetiletý Leonard Ross v roce 1956, jenž se stal vítězem televizní soutěže, jejíž zaměření bylo na akciový trh.

V roce 2017 to bylo přesně 30 let ode dne, který je známý jako Black Monday. Pro rok 1987 byl typický velký ekonomický růst, objevovaly se nové investiční strategie a začaly být stále více využívány hedgingové nástroje. Postupně se však začala dobrá nálada investorů měnit. Po oznámení deficitu obchodní bilance ve výši 1 miliardy dolarů začalo docházet k oslabování amerického dolaru. Situaci na trhu dále zhoršilo také politické napětí vyvolané raketovým útokem Íránu na americký tanker a očekávání možných odvetných opatření. V důsledku toho začalo docházet k poklesu akciových trhů po celém světě, přičemž vrchol nastal právě v pondělí 19. října. Nejhorší pokles byl zaznamenán na novozélandské burze, jejíž hodnota poklesla za jeden den o 60 %.

Hlavním indexem na newyorské burze je hodnotově vážený index S&P 500, v jehož bázi jsou zahrnuty akcie 500 společností působících v hlavních průmyslových odvětvích. V Tab. 4.1 je uvedeno pět společností s největší tržní kapitalizací, které jsou součástí báze indexu S&P 500. Údaje jsou k datu 2.10.2017 [22, 30, 37, 38, 39].

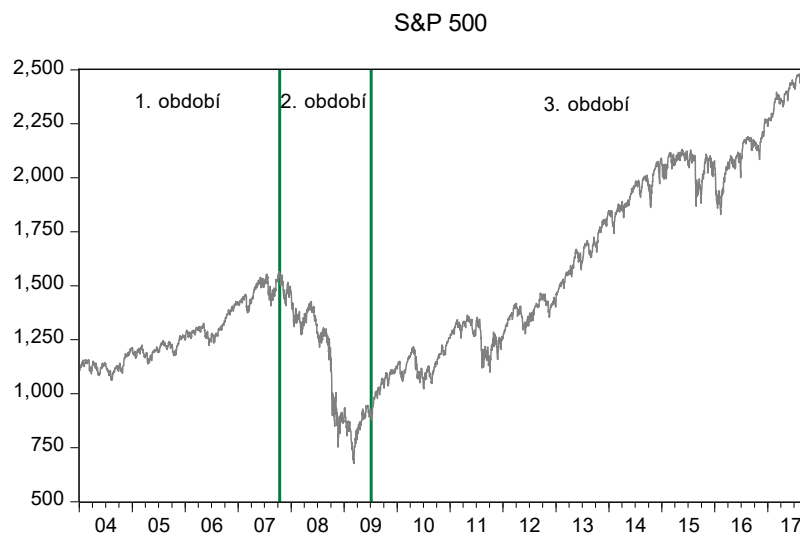
Tab. 4.1 Společnosti s největší tržní kapitalizací v bázi indexu S&P 500

Společnost	Zaměření	Tržní kapitalizace (mil. GBP)	váha (%)
<b>Apple Inc.</b>	Elektronika	792 346	3,78
<b>Alphabet Inc.</b>	Internet	665 081	1,40
<b>Microsoft Corporation</b>	PC	574 857	3,12
<b>Facebook Inc.</b>	Internet	492 541	1,70
<b>Amazon.com Inc.</b>	Online prodej	459 454	2,58

Zdroj: <http://www.bloomberg.com> ,

V grafu 4.1 je potom zobrazen vývoj indexu S&P 500 v průběhu analyzovaného období, tedy od 1. 1. 2004 až do 22. 8. 2017.

Graf 4.1 Vývoj indexu S&P 500 v období od 1. 1. 2004 do 22. 8. 2017



Zdroj: vlastní zpracování v programu EViews

### 4.3.2 London Stock Exchange

Londýnská akciová burza (LSE) byla založena v roce 1801. Zpočátku bylo fungování burzy založeno na členském principu klubu, který byl zároveň ve vlastnictví jeho členů. Pokud daná osoba nebyla členem klubu, nemohla se stát ani jeho vlastníkem. Změna nastala až 27. října roku 1986, kdy došlo k podpoře konkurenčního prostředí na burzovním trhu. Toto datum je také známo pod pojmem Big Bang. Od této chvíle mohly firmy vystupovat jako dealeri a zároveň i jako brokeři, což dříve umožněno nebylo. Další významnou změnou byl přechod z parketového obchodování na obchodování pomocí počítačového systému. Nyní už nebyly nutné fyzické schůzky s klienty, ale začalo být hodně využíváno také obchodování po telefonu. Z tohoto důvodu bylo třeba také změnit šíření informací tak, aby bylo dostupné všem na burze a bylo spravedlivé. Proto byly vytvořeny systémy CNS (Central News Service), kde byla zobrazována textová oznámení a ETNS (Edited Text News Service) pro shrnutí údajů. V roce 2000 byl s rozvojem internetu vytvořen systém RNS (Regulatory New Service) pro internetovou komunikaci. Tento systém je ve Velké Británii dodnes využíván a společností umožňuje komunikovat s investory po celém světě.

V současné době je tato burza vlastněna společností London Stock Exchange Group plc, která vznikla v říjnu roku 2007, kdy došlo k fúzi LSE s milánskou burzou. Kromě britských společností je zde obchodováno i mnoho akcií významných zahraničních společností. Nejvýznamnějším indexem na LSE je index FTSE 100, který je řazen mezi hodnotově vážené indexy. V bázi je zahrnuto 100 společností s největší tržní kapitalizací obchodovaných na londýnské burze. Na LSE lze dále nalézt například index FTSE 250 či FTSE 350, v jehož bázi jsou všechny společnosti předchozích dvou uvedených indexů. V Tab. 4.2 je uvedeno pět společností s největší tržní kapitalizací v bázi indexu FTSE 100 k datu 2.10.2017 [3, 35, 36].

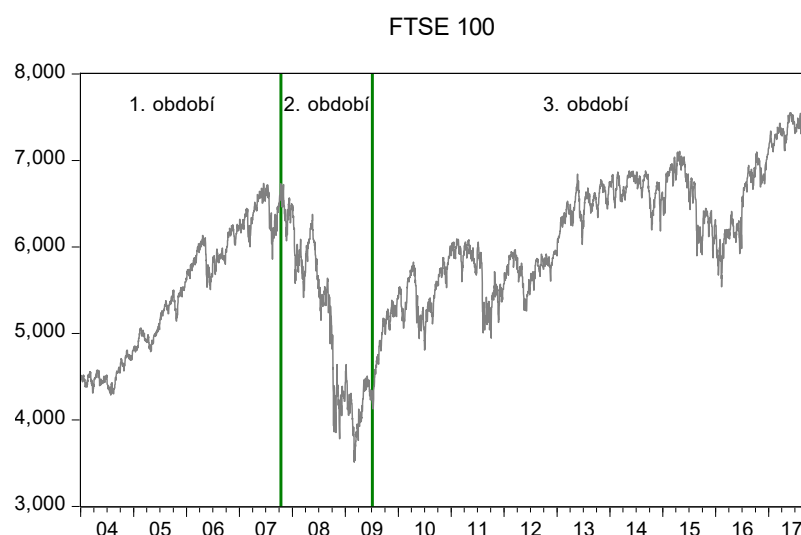
Tab. 4.2 Společnosti s největší tržní kapitalizací v bázi indexu FTSE 100

Společnost	Zaměření	Tržní kapitalizace (mil. GBP)
<b>Royal Dutch Shell A</b>	ropný průmysl	189 413
<b>Royal Dutch Shell B</b>	ropný průmysl	189 413
<b>HSBC Holdings</b>	bankovníctví	148 402
<b>British American Tobacco</b>	tabákový průmysl	108 186
<b>BP</b>	ropný průmysl	95 074

Zdroj: <http://www.bloomberg.com>

V grafu 4.2 je potom zobrazen vývoj indexu FTSE 100 v průběhu analyzovaného období, tedy od 1. 1. 2004 až do 22. 8. 2017.

Graf 4.2 Vývoj indexu FTSE 100 v období od 1. 1. 2004 do 22. 8. 2017



Zdroj: vlastní zpracování v programu EViews



### 4.3.3 Bourse de Paris

Nejvýznamnější a zároveň největší francouzská burza, Bourse de Paris, byla založena v roce 1724, a jak již vyplývá z názvu, lze ji nalézt v Paříži. V 19. století došlo k modernizaci burzy za účelem zvýšení její konkurenceschopnosti. Sídlem burzy se stala stavba Palais Brongniart, kde 150 let probíhal výkřikový systém obchodování. Obchodníci se zde tedy sešli, a pokud měla být uzavřena nějaká transakce, jednoduše po sobě křičeli a rukama signalizovali přání obchod uzavřít. V 80. letech 20. století docházelo k začleňování počítačových obchodních systémů a tedy modernizaci burzy. Až v roce 1989 bylo obchodování čistě elektronické. V roce 1999 došlo ke spojení francouzských společností SBF, MATIF SA, MONEP SA a Société du Nouveau Marché a byla tak založena společnost Paris Bourse SBF SA, v rámci které bylo možné provádět obchody s akciemi, dluhopisy, deriváty i komoditami. V roce 2000 došlo ke spojení této pařížské burzy s amsterdamskou a bruselskou, a byla tak vytvořena skupina Euronext. Tímto byly jednotlivé nezávislé trhy spojeny do jednoho univerzálního trhu. Od tohoto roku je pařížská burza známá pod názvem Euronext Paris. K dalšímu rozšíření trhu došlo v roce 2007, kdy byla připojena ještě newyorská burza, čímž vznikla NYSE Euronext.

Nejvýznamnějším francouzským indexem je index CAC 40. Jedná se o hodnotově vážený index, v jehož bázi lze nalézt čtyřicet nejvýznamnějších společností obchodovaných na burze v Paříži. V Tab. 4.3 je uvedeno pět společností s největší tržní kapitalizací, které jsou součástí báze indexu CAC 40. Údaje jsou z data 2.10.2017 [27, 28, 31].

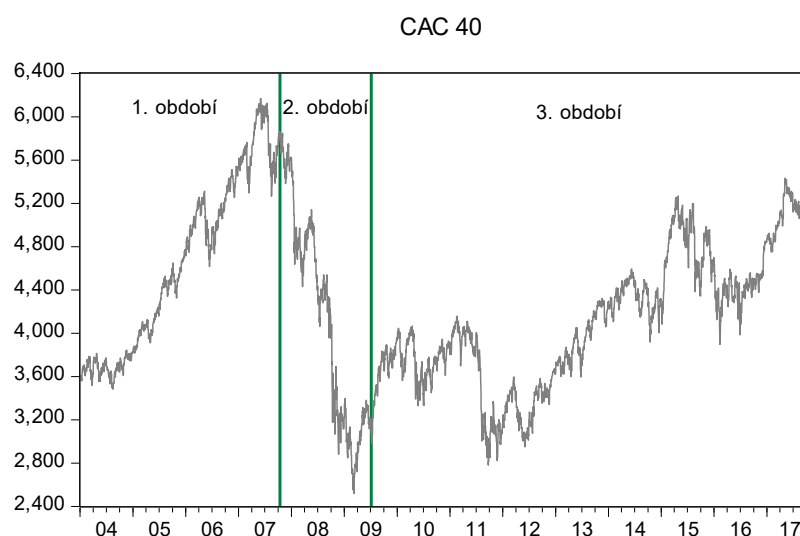
Tab. 4.3 Společnosti s největší tržní kapitalizací v bázi indexu CAC 40

Společnost	Zaměření	Tržní kapitalizace (mil. GBP)
<b>LVMH</b>	obchod s luxusním zbožím	118 253
<b>Total</b>	ropný průmysl	113 178
<b>Sanofi</b>	farmaceutický průmysl	107 464
<b>L'Oreal</b>	kosmetický průmysl	101 542
<b>BNP Paribas</b>	bankovní průmysl	85 464

Zdroj: <http://www.bloomberg.com>

V grafu 4.3 je potom zobrazen vývoj indexu CAC 40 v průběhu analyzovaného období, tedy od 1. 1. 2004 až do 22. 8. 2017.

**Graf 4.3 Vývoj indexu CAC 40 v období od 1. 1. 2004 do 22. 8. 2017**



Zdroj: vlastní zpracování v programu EViews

#### **4.3.4 Frankfurt Stock Exchange**

V současné době je na území Německa možné obchodovat na sedmi burzách, přičemž více než 85% všech burzovních obchodů je realizováno na burze ve Frankfurtu. Tato burza byla založena již v roce 1585 a nyní je součástí skupiny Deutsche Börse. Vznik burzy souvisí s veletrhy, které jsou pro Frankfurt typické již od 11. století a proto se později Frankfurt stal centrem obchodních a peněžních transakcí. Do města jezdili obchodníci z celé Evropy, avšak problémem se stala nejednotná měna, díky které se obchody stávaly složitějšími. Proto v roce 1585 byly vytvořeny jednotné směnné kurzy pro transakce s bankovkami a mincemi a touto skutečností došlo ke vzniku burzy. Název Börse byl v písemnostech poprvé použit v roce 1605 pro setkání obchodníků za účelem aktualizování těchto směnných kurzů. Tato setkání byla nejprve konána před frankfurtskou radnicí, až v roce 1694 byla přestěhována do budovy Großer Braunfels v Liebfrauenbergu. Dnes je tato německá burza považována za jedno z mezinárodních obchodních center, přibližně polovina účastníků není z Německa. Původ slova Börse je odvozen od jména bohaté rodiny obchodníků Van der Beurse žijící v belgickém městě Bruggy.

Hlavním indexem na FSE je hodnotově vážený index DAX. Báze je složena z třiceti nejvýznamnějších německých společností obchodovaných na Frankfurtské burze. V Tab. 4.4

je uvedeno pět společností s největší tržní kapitalizací v bázi indexu DAX k datu 2.10.2017 [23, 24, 25].

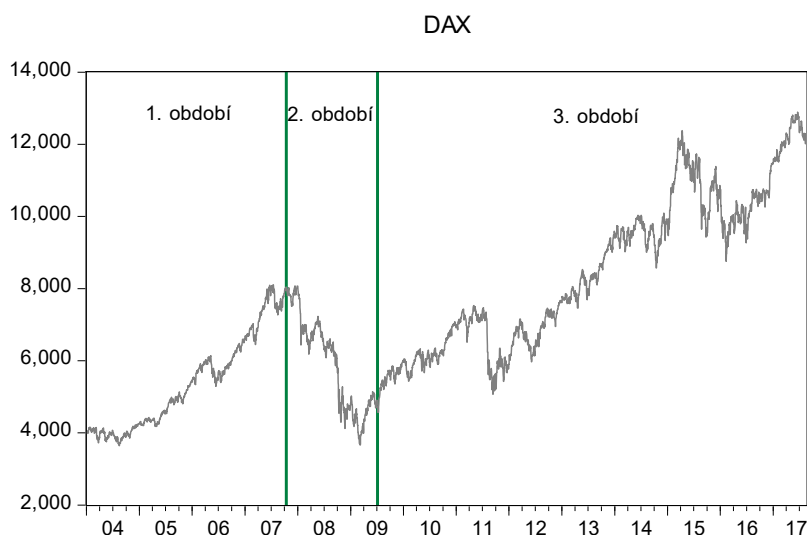
Tab. 4.4 Společnosti s největší tržní kapitalizací v bázi indexu DAX

Společnost	Zaměření	Tržní kapitalizace (mil. GBP)
<b>SAP AG</b>	softwarový průmysl	115 221
<b>Siemens AG</b>	elektronika	101 890
<b>Bayer AG</b>	farmaceutický prům.	95 169
<b>Allianz SE</b>	finanční služby	85 124
<b>BASF SE</b>	chemický průmysl	82 473

Zdroj: <http://www.bloomberg.com>

V následujícím grafu 4.4 je potom zobrazen vývoj indexu DAX v průběhu analyzovaného období, tedy od 1. 1. 2004 až do 22. 8. 2017.

Graf 4.4 Vývoj indexu DAX v období od 1. 1. 2004 do 22. 8. 2017



Zdroj: vlastní zpracování v programu EViews

## 4.4 Deskriptivní statistiky

Obsah této kapitoly je zaměřen na výpočet deskriptivních statistik pro časové řady jednotlivých indexů. Veškeré výpočty byly provedeny ve statistickém programu EViews, přičemž výsledky jsou shrnuty v tabulkách. Mezi použité popisné statistiky patří střední hodnota, medián, maximum, minimum, směrodatná odchylka, rozptyl, šikmost a špičatost.

Pomocí těchto údajů, a také pomocí dále znázorněných histogramů bude zkoumáno, zda data mají či nemají normální rozdělení pravděpodobnosti.

#### 4.4.1 Index S&P 500

Nejprve budou popsány deskriptivní statistiky denních logaritmických výnosů indexu S&P 500, přičemž konkrétní hodnoty, zaokrouhlené na tři desetinná místa, jsou uvedeny v Tab. 4.5. Jak již bylo zmíněno v podkapitole 3.4.1, pro potvrzení normálního rozdělení pravděpodobnosti logaritmů výnosů by měly být rozptyl a střední hodnota konstantní, což není splněno, jelikož v období krize bylo riziko přibližně trojnásobně vyšší oproti prvnímu období. O jiném než normálním rozdělení pravděpodobnosti svědčí také hodnoty šikmosti a špičatosti vypočtené dle vzorců (3.50) a (3.51).

V případě normálního rozdělení by měla být šikmost rovna nule a špičatost rovna číslu 3, což však nelze potvrdit. Hodnoty šikmosti jsou ve všech obdobích záporné, což značí zešikmení směrem doprava. Zešikmení lze potvrdit i při pohledu na střední hodnotu, která je ve všech obdobích téměř nulová. V prvním a třetím období je střední hodnota o něco málo větší než nula, z čehož vyplývá, že v časové řadě se vyskytuje více kladných hodnot než hodnot záporných. Ve druhém období je tomu naopak. Hodnoty špičatosti jsou také vyšší než číslo 3, což znamená, že rozdělení pravděpodobnosti u těchto výnosů je špičatější okolo středu, než je typické pro normální rozdělení, přičemž nejvíce je to znát ve třetím období.

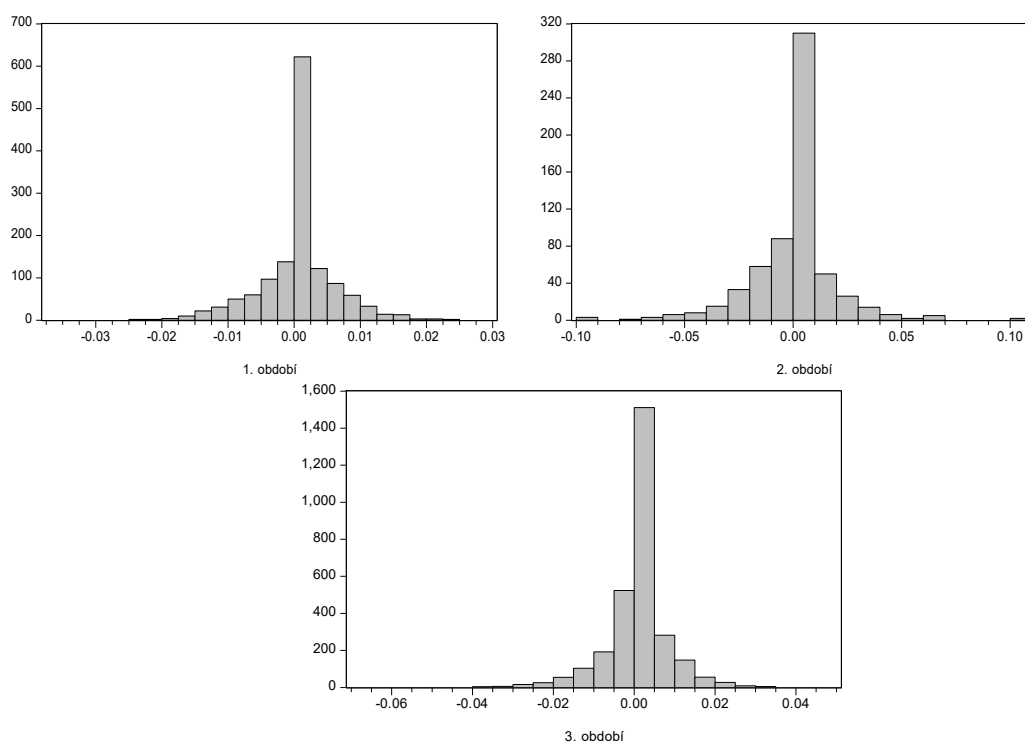
Tab. 4.5 Deskriptivní statistiky denních logaritmických výnosů indexu S&P 500

	1. období	2. období	3. období
<b>Střední hodnota</b>	$2 \cdot 10^{-4}$	-0,001	$3 \cdot 10^{-4}$
<b>Medián</b>	0,000	0,000	0,000
<b>Maximum</b>	0,029	0,110	0,046
<b>Minimum</b>	-0,035	-0,095	-0,069
<b>Sm. odchylka</b>	0,006	0,019	0,008
<b>Rozptyl</b>	$4 \cdot 10^{-5}$	$4 \cdot 10^{-4}$	$6 \cdot 10^{-5}$
<b>Šikmost</b>	-0,270	-0,099	-0,476
<b>Špičatost</b>	6,640	9,520	10,442

Zdroj: vlastní zpracování na základě výsledků získaných pomocí programu EViews

V grafu 4.5 jsou pro větší přehlednost zobrazeny histogramy výnosů za všechna tři zvolená období.

**Graf 4.5** Histogramy denních logaritmických výnosů indexu S&P 500



Zdroj: vlastní zpracování v programu EViews

#### 4.4.2 Index FTSE 100

Dalším zkoumaným indexem je index FTSE 100. Dle Tab. 4.6 lze opět potvrdit, že se v tomto případě nejedná o normální rozdělení pravděpodobnosti. Rozptyl ani střední hodnota nejsou konstantní, ve druhém období bylo opět zaznamenáno trojnásobné riziko oproti období předkrizovému. Hodnota koeficientu šikmosti je v prvním a třetím období záporná, tudíž lze konstatovat zešikmení na pravou stranu. Ve druhém období bylo naopak dosaženo levého zešikmení, jelikož hodnota koeficientu je kladná. Z hlediska střední hodnoty je situace obdobná jako u indexu S&P 500, ve všech třech obdobích je hodnota mírně odlišná od nuly. V prvním a třetím období je v časové řadě logaritmických výnosů zahrnuto více kladných hodnot a naopak ve druhém období bylo zaznamenáno více hodnot záporných. Špičatost je u těchto časových řad opět vyšší, než je typické pro normální rozdělení pravděpodobnosti, jelikož hodnoty koeficientu špičatosti jsou ve všech obdobích vyšší než číslo 3, a to zejména ve 2. období.

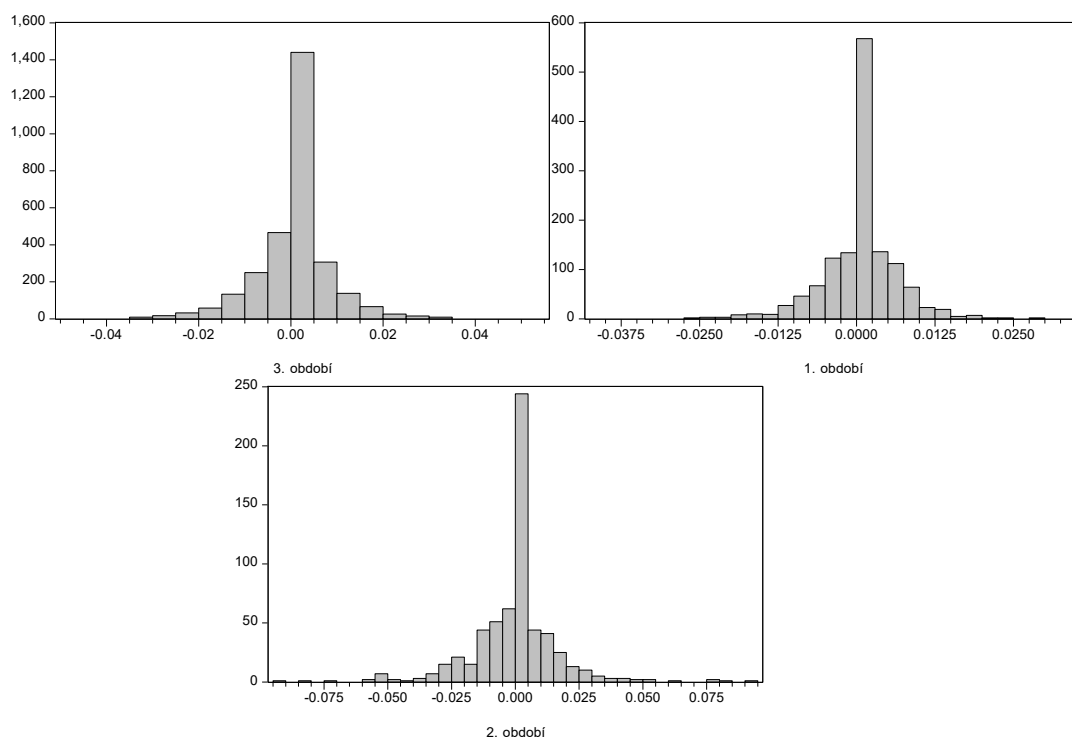
Tab. 4.6 Deskriptivní statistiky denních logaritmických výnosů indexu FTSE 100

	1. období	2. období	3. období
<b>Střední hodnota</b>	$3 \cdot 10^{-4}$	-0,001	$2 \cdot 10^{-4}$
<b>Medián</b>	0,000	0,000	0,000
<b>Maximum</b>	0,034	0,094	0,050
<b>Minimum</b>	-0,042	-0,093	-0,048
<b>Sm. odchylka</b>	0,006	0,017	0,008
<b>Rozptyl</b>	$4 \cdot 10^{-5}$	$3 \cdot 10^{-4}$	$6 \cdot 10^{-5}$
<b>Šikmost</b>	-0,484	0,028	-0,175
<b>Špičatost</b>	8,816	9,632	7,407

Zdroj: vlastní zpracování na základě výsledků získaných pomocí programu EViews

V grafu 4.6 jsou opět zachyceny histogramy pro všechna tři období, přičemž jejich tvar potvrzuje výše uvedené.

Graf 4.6 Histogramy denních logaritmických výnosů indexu FTSE 100



Zdroj: vlastní zpracování v programu EViews

#### 4.4.3 CAC 40

U indexu CAC 40 byl opět zaznamenán problém týkající se vyšší špičatosti okolo středu, normální rozdělení pravděpodobnosti lze v tomto případě tedy vyloučit.

Potvrzením je i hodnota koeficientu šikmosti uvedená v Tab. 4.7, která není nulová, jak by tomu bylo v případě normálního rozdělení. V prvním a třetím období lze hovořit o pravostranném zešikmení, ve druhém období, na základě kladné hodnoty koeficientu šikmosti, potom naopak o zešikmení levostranném. Tyto skutečnosti lze ověřit také pomocí střední hodnoty. V prvním a třetím období je střední hodnota velmi malé kladné číslo a lze tedy potvrdit vyšší výskyt kladných výnosů v časové řadě, tedy zešikmení na pravou stranu, ve druhém období je potom časová řada složena z více záporných hodnot a tedy zešikmená na stranu levou. Hodnoty špičatosti byly stejně jako v předchozích případech ve všech obdobích vyšší než číslo 3, a tudíž lze hovořit o špičatějším rozdělení pravděpodobnosti okolo středu. Nejvíce je to vidět v období druhém. Na základě posouzení hodnot směrodatné odchylky lze opět vidět téměř třikrát vyšší riziko po nástupu finanční krize.

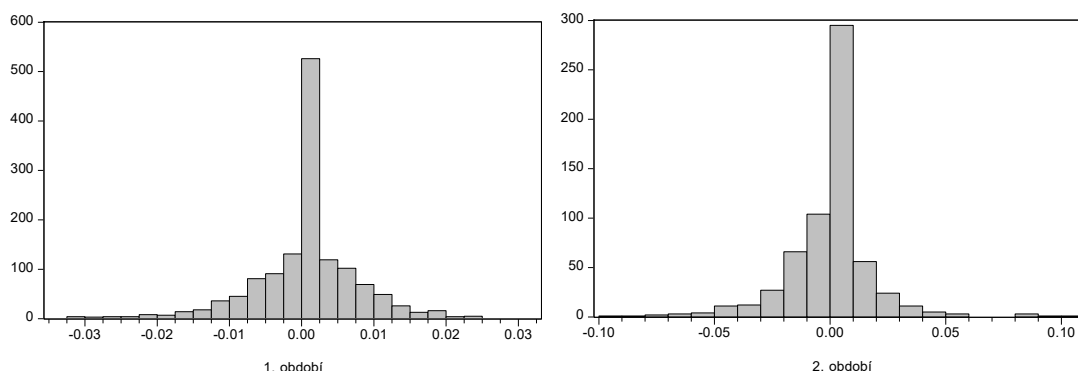
Tab. 4.7 Deskriptivní statistiky denních logaritmických výnosů indexu CAC 40

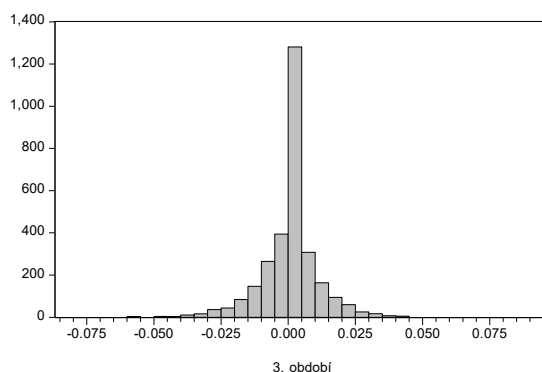
	1. období	2. období	3. období
<b>Střední hodnota</b>	$4 \cdot 10^{-4}$	-0,001	$2 \cdot 10^{-4}$
<b>Medián</b>	0,000	0,000	0,000
<b>Maximum</b>	0,032	0,106	0,092
<b>Minimum</b>	-0,033	-0,095	-0,084
<b>Sm. odchylka</b>	0,007	0,019	0,011
<b>Rozptyl</b>	$5 \cdot 10^{-5}$	$4 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-4}$
<b>Šikmost</b>	-0,436	0,259	-0,157
<b>Špičatost</b>	5,899	10,138	9,278

Zdroj: vlastní zpracování na základě výsledků získaných pomocí programu EViews

Pro potvrzení výše uvedených poznatků jsou v grafu 4.7 uvedeny histogramy pro jednotlivá analyzovaná období.

Graf 4.7 Histogramy denních logaritmických výnosů indexu CAC 40





Zdroj: vlastní zpracování v programu EViews

#### 4.4.4 DAX

Posledním analyzovaným indexem je index DAX. Pro časové řady denních logaritmických výnosů je opět typické jiné než normální rozdělení pravděpodobnosti, o čemž svědčí hodnoty uvedené v Tab. 4.8. Z hlediska rizika je na tom tento index obdobně jako indexy předchozí, jelikož ve druhém období je hodnota směrodatné odchylky vyjadřující riziko trojnásobná oproti období prvnímu. Ani tento index není výjimkou a byla u něj zaznamenána šikmost. V případě prvního a třetího zkoumaného období jsou hodnoty zešikmené doprava, v případě druhého období potom na stranu druhou. Uvedené lze opět ověřit pomocí střední hodnoty, která je v prvním a třetím období číslo o něco vyšší než nula, z čehož vyplývá, že v časové řadě lze nalézt spíše kladné hodnoty, větší množství záporných hodnot je naopak typické pro období druhé. Z hlediska špičatosti se opět jedná o rozdělení špičatější okolo středu, což je nejzřetelnější ve druhém období.

Tab. 4.8 Deskriptivní statistiky denních logaritmických výnosů indexu DAX

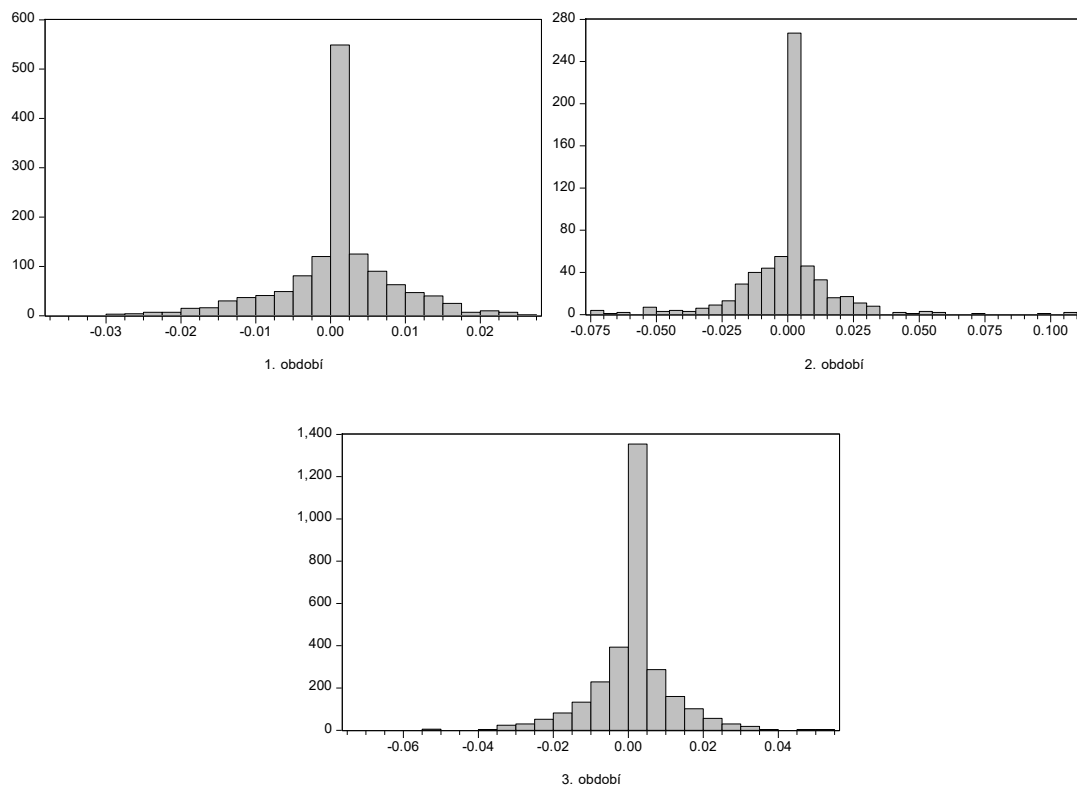
	1. období	2. období	3. období
<b>Střední hodnota</b>	0,001	-0,001	$3 \cdot 10^{-4}$
<b>Medián</b>	0,000	0,000	0,000
<b>Maximum</b>	0,026	0,108	0,052
<b>Minimum</b>	-0,035	-0,074	-0,071
<b>Sm. odchylka</b>	0,008	0,018	0,011
<b>Rozptyl</b>	$6 \cdot 10^{-5}$	$3 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-4}$
<b>Šikmost</b>	-0,425	0,415	-0,283
<b>Špičatost</b>	5,341	11,107	7,517

Zdroj: vlastní zpracování na základě výsledků získaných pomocí programu EViews



Pro bližší představu jsou dále v grafu 4.8 zobrazeny histogramy, na kterých lze dobře vidět uvedené charakteristiky.

**Graf 4.8 Histogramy denních logaritmických výnosů indexu DAX**



Zdroj: vlastní zpracování v programu EViews

## 5 Výsledky empirických testů

Zaměření této kapitoly už je zcela praktické. Na jednotlivé časové řady logaritmických výnosů aktiv budou aplikovány zvolené lineární a nelineární metody. Pro výpočty budou použity statistický program EViews a Microsoft Excel. Nejprve budou uvedeny výsledky testu sekvencí a zvrátů, který se používá pro testování hypotézy náhodné procházky typu 1, stejně jako runs test, který je popsán dále. Mezi další použité lineární metody patří autokorelační analýza spolu s Ljung-Box testem sloužící pro testování 3. typu hypotézy náhodné procházky a test poměrem rozptylů, kterým je opět ověřována platnost RW1. Následně už je pozornost věnována nelineárním testům, kterými jsou BDS test sloužící pro testování RW1 a dále také ARCH test a Whiteův test pro ověření hypotézy náhodné procházky typu 2 a 3.

Pro účely této práce bude abstrahováno od efektu nesynchronního obchodování a vzhledem k náročnosti tématu a rozsahu nebudou brány v úvahu transakční a informační náklady a riziková prémie.

### 5.1 Lineární metody

Obsahem této podkapitoly bude uvedení výsledků, které byly získány při použití jednotlivých lineárních metod, tedy testu sekvencí a zvrátů, runs testu, autokorelační analýzy, Ljung-Boxova testu a testu poměrem rozptylů. Pro aplikaci prvních dvou zmíněných byl použit program Microsoft Excel, závěry následujících testů už byly získány pomocí statistického programu EViews. Výsledné hodnoty jsou pro každý test uvedeny v tabulkách se zaokrouhlením na tři desetinná místa, přičemž u autokorelační analýzy, Ljung-Boxova testu a testu poměrem rozptylů jsou uvedeny pouze některé údaje, všechny získané hodnoty jsou potom součástí příloh č. 1 a 2.

#### 5.1.1 Test sekvencí a zvrátů

První lineární metodou použitou k testování slabé formy efektivnosti trhu je test sekvencí a zvrátů. Jak již bylo zmíněno, tento test je vhodný pro testování hypotézy náhodné procházky typu 1. Při výpočtech bylo vycházeno z uzavíracích kurzů, přičemž tyto hodnoty

byly převedeny na jejich přirozené logaritmy. Následně byly zkoumány změny logaritmických cen, přičemž bylo postupováno dle vzorců (3.10) a (3.11). Pokud byla změna pozitivní, bylo zapsáno číslo 1, pokud byla negativní či nulová, byla zapsána číslice 0. Dále byly zjištěny počty sekvencí a zvrátů dle vzorců (3.12) a (3.13). Výsledné hodnoty pro jednotlivé indexy a období jsou uvedeny v Tab. 5.1, přičemž ve výpočtech nebyla uvažována očekávaná změna ceny. Je zde uvedena také hodnota Cowles-Jonesova poměru, která byla spočtena dle vzorce (3.14) a hodnota testovací statistiky spočtená dle vzorce (3.20).

Tab. 5.1 Výsledné hodnoty testu sekvencí a zvrátů

Indexy	1. období				2. období				3. období			
	N <sub>s</sub>	N <sub>r</sub>	CJ	Test. krit.	N <sub>s</sub>	N <sub>r</sub>	CJ	Test. krit.	N <sub>s</sub>	N <sub>r</sub>	CJ	Test. krit.
<b>S&amp;P 500</b>	763	614	1,243	4,509	338	291	1,162	2,031	1664	1310	1,270	7,362
<b>FTSE 100</b>	760	617	1,232	4,305	350	279	1,254	3,185	1728	1246	1,387	10,552
<b>CAC 40</b>	726	651	1,115	2,134	368	261	1,410	5,141	1678	1296	1,295	8,044
<b>DAX</b>	750	627	1,196	3,637	354	275	1,287	3,599	1682	1292	1,302	8,235

Zdroj: vlastní zpracování na základě výsledků získaných pomocí programu EViews

Z tabulky lze vidět, že jak pro všechny indexy, tak také pro všechna období byl zaznamenán větší počet sekvencí než zvrátů a tudíž hodnota Cowles-Jonesova poměru dosahuje hodnot vyšších než 1. Z této skutečnosti a také na základě porovnání testovací statistiky s kritickou hodnotou dle vzorce (3.20) lze vyvodit, že pomocí testu sekvencí a zvrátů nebyla potvrzena hypotéza náhodné procházky typu 1.

### 5.1.2 Runs test

Dalším testem sloužícím pro testování hypotézy náhodné procházky typu 1 je runs test, v rámci kterého byly pro výpočty opět použity přirozené logaritmy uzavíracích kurzů. Princip testu spočívá ve sledování změn těchto veličin, pokud došlo k růstu hodnoty, bylo zapsáno znaménko plus, pokud došlo naopak k poklesu, bylo zapsáno znaménko mínus. V případě, že v daný den neproběhl žádný obchod, bylo ponecháno znaménko z předcházejícího obchodního dne. Na základě těchto zápisů byl vypočten celkový počet runů. Dále bylo třeba určit očekávaný počet runů a rozptyl dle vzorců (3.21) a (3.22). V Tab. 5.2 jsou uvedeny vypočtené hodnoty pro jednotlivé indexy a jednotlivá období, přičemž byla uvažována 5% hladina významnosti.

Tab. 5.2 Výsledné hodnoty runs testu

		Počet runů	Očekávaný počet runů	Konfidenční interval
1. období	S&P 500	510,000	681,439	<645,512;717,365>
	FTSE 100	503,000	682,484	<646,502;718,466>
	CAC 40	545,000	682,281	<646,310;718,252>
	DAX	489,000	672,715	<637,250;708,181>
2. období	S&P 500	253,000	314,634	<290,143;339,125>
	FTSE 100	234,000	314,164	<289,710;338,618>
	CAC 40	216,000	315,003	<290,483;339,523>
	DAX	230,000	315,493	<290,935;340,051>
3. období	S&P 500	1058,000	1474,819	<1421,858;1527,780>
	FTSE 100	998,000	1480,010	<1426,863;1533,158>
	CAC 40	1088,000	1486,514	<1433,133;1539,896>
	DAX	1050,000	1482,058	<1428,837;1535,279>

Zdroj: vlastní zpracování na základě výsledků získaných pomocí programu EViews

Z Tab. 5.2 lze vidět, že zjištěný počet runů v časových řadách hodnot všech indexů v žádném období neleží uvnitř 95% intervalu spolehlivosti. Nulová hypotéza tudíž musí být zamítnuta a je přijata hypotéza alternativní, což znamená, že změny cen nejsou nezávislé. Nelze tudíž potvrdit existenci efektivnosti trhu, jelikož se mezi cenovými změnami vyskytuje závislost a protože je ve všech obdobích skutečný počet runů nižší než očekávaný, lze předpokládat existenci pozitivní korelace.

### 5.1.3 Autokorelační analýza

Autokorelační analýza je používána pro testování hypotézy náhodné procházky typu 3. V tomto případě je vycházeno z časových řad logaritmických výnosů. Pro testování budou použity autokorelační funkce a parciálně autokorelační funkce. V případě potvrzení nulové hypotézy by mělo platit, že koeficient autokorelace  $k$ -tého řádu je roven 0, v případě přijetí alternativní hypotézy tato rovnost neplatí a nelze tudíž potvrdit existenci slabé formy efektivnosti trhu. V Tab. 5.3, Tab. 5.4, Tab. 5.5 a Tab. 5.6 jsou pro jednotlivé indexy uvedeny hodnoty autokorelační funkce,  $Q$ -statistiky a  $p$ -hodnoty, přičemž bylo uvažováno 15 zpoždění. Grafy autokorelační funkce a parciálně autokorelační funkce jsou uvedeny v příloze č. 1. Pro veškeré výpočty byl použit program EViews.

V metodické části práce byly popsány také Box-Pierce test a jeho modifikace Ljung-Box test. Při použití těchto testů je vycházeno z  $Q$ -statistiky, která je také uvedena v následujících tabulkách, proto není nutné výsledky těchto testů uvádět samostatně. V rámci této práce bude použit pouze Ljung-Box test.

Na základě hodnot v Tab. 5.3 lze říci, že pro logaritmické výnosy indexu S&P 500 v prvním období platí, že nejsou ani pro jedno zpoždění autokorelované, jelikož  $p$ -hodnota je ve všech případech větší než 5% hladina významnosti a tyto hodnoty tedy nejsou statisticky významné. V druhém a třetím zpoždění však naopak byla nalezena autokorelace pro všech 15 uvedených zpoždění. Vzhledem k uvedeným výsledkům je tedy zřejmé, že z hlediska Ljung-Boxova testu lze pro 1. období potvrdit existenci slabé formy efektivnosti trhu, avšak pro další dvě období už nulovou hypotézu přijmout nelze.

Tab. 5.3 Výsledky autokorelační analýzy pro časové řady logaritmických výnosů indexu S&P 500

Zpoždění	1. období			2. období			3. období		
	ACF	Q-stat.	p-hod.	ACF	Q-stat.	p-hod.	ACF	Q-stat.	p-hod.
1	-0,040	2,187	0,139	-0,166	17,454	0,000	-0,047	6,5063	0,011
2	-0,009	2,297	0,317	-0,022	17,749	0,000	0,034	9,8896	0,007
3	-0,047	5,379	0,146	0,098	23,890	0,000	-0,028	12,286	0,006
4	-0,037	7,320	0,120	-0,128	34,362	0,000	-0,017	13,169	0,010
5	0,034	8,923	0,112	-0,004	34,371	0,000	-0,045	19,333	0,002
6	-0,029	10,067	0,122	0,017	34,560	0,000	0,022	20,842	0,002
7	-0,007	10,133	0,181	-0,027	35,017	0,000	-0,057	30,616	0,000
8	-0,008	10,214	0,250	0,062	37,440	0,000	0,011	30,989	0,000
9	-0,016	10,556	0,307	-0,057	39,506	0,000	0,003	31,024	0,000
10	-0,023	11,269	0,337	-0,005	39,522	0,000	-0,018	32,010	0,000
11	-0,007	11,332	0,416	0,009	39,575	0,000	-0,031	34,910	0,000
12	-0,023	12,063	0,441	0,026	40,022	0,000	0,024	36,602	0,000
13	0,002	12,067	0,522	-0,026	40,447	0,000	-0,048	43,456	0,000
14	0,016	12,437	0,571	0,033	41,140	0,000	0,016	44,233	0,000
15	-0,030	13,686	0,549	0,006	41,166	0,000	0,029	46,698	0,000

Zdroj: vlastní zpracování na základě výsledků získaných pomocí programu EViews

V Tab. 5.4 jsou uvedeny hodnoty autokorelační funkce,  $Q$ -statistiky a  $p$ -hodnoty pro časové řady logaritmických výnosů indexu FTSE 100. Pro první období v tomto případě platí, že uvedené hodnoty jsou statisticky významné. Z hlediska Ljung-Boxova testu, kdy je přijímána nulová hypotéza v případě, kdy jsou všechny autokorelační koeficienty simultánně nulové, platí, že tato hypotéza nemůže být přijata. Ve druhém a třetím období platí pro všechna uvedená zpoždění, že logaritmické výnosy pro všech 15 zpoždění nejsou

autokorelované, což znamená, že lze předpokládat jejich nezávislý vývoj a tedy potvrdit hypotézu efektivního trhu.

Tab. 5.4 Výsledky autokorelační analýzy pro časové řady logaritmických výnosů indexu FTSE 100

Zpoždění	1. období			2. období			3. období		
	ACF	Q-stat.	p-hod.	ACF	Q-stat.	p-hod.	ACF	Q-stat.	p-hod.
1	-0,095	12,587	0,000	-0,024	0,377	0,539	-0,008	0,204	0,651
2	0,017	12,994	0,002	-0,012	0,461	0,794	-0,004	0,241	0,886
3	-0,057	17,492	0,001	-0,075	4,078	0,253	0,021	1,586	0,663
4	0,009	17,599	0,001	-0,056	6,104	0,192	-0,037	5,755	0,218
5	0,018	18,041	0,003	-0,075	9,671	0,085	-0,010	6,059	0,301
6	-0,024	18,843	0,004	0,151	24,136	0,070	-0,042	11,439	0,076
7	-0,028	19,938	0,006	-0,092	29,520	0,051	-0,023	13,014	0,072
8	0,015	20,251	0,009	-0,061	31,938	0,102	0,016	13,741	0,089
9	0,014	20,523	0,015	0,036	32,788	0,253	0,005	13,813	0,129
10	-0,023	21,290	0,019	0,025	33,202	0,068	-0,022	15,271	0,122
11	-0,035	23,036	0,017	-0,009	33,254	0,054	0,001	15,275	0,170
12	-0,021	23,675	0,023	0,039	34,213	0,060	-0,029	17,775	0,123
13	0,040	25,878	0,018	-0,021	34,498	0,127	-0,005	17,862	0,163
14	-0,023	26,588	0,022	0,032	35,141	0,201	-0,009	18,112	0,202
15	0,031	27,951	0,022	0,007	35,172	0,274	-0,009	18,338	0,245

Zdroj: vlastní zpracování na základě výsledků získaných pomocí programu EViews

Výsledky autokorelační analýzy pro logaritmické výnosy indexu CAC 40 jsou uvedeny v Tab. 5.5. V prvním období lze potvrdit existenci autokorelace 1. a 2. řádu. Na základě definovaných hypotéz pro Ljung-Boxův test je nulová hypotéza zamítnuta, jelikož nejsou všechny autokorelační koeficienty současně nulové. Ve druhém období nejsou logaritmické výnosy pro žádné období statisticky významné, a tudíž lze potvrdit hypotézu efektivního trhu. V posledním období opět nelze přijmout nulovou hypotézu, jelikož logaritmické výnosy pro 7. až 11. zpoždění jsou autokorelované.

Tab. 5.5 Výsledky autokorelační analýzy pro časové řady logaritmických výnosů indexu CAC 40

Zpoždění	1. období			2. období			3. období		
	ACF	Q-stat.	p-hod,	ACF	Q-stat.	p-hod,	ACF	Q-stat.	p-hod,
1	-0,069	6,533	0,011	-0,021	0,289	0,591	-0,013	0,485	0,486
2	0,011	6,715	0,035	-0,003	0,294	0,863	-0,013	1,010	0,604
3	-0,023	7,460	0,059	-0,117	9,030	0,051	0,005	1,079	0,782
4	-0,018	7,911	0,095	-0,046	10,401	0,062	-0,042	6,298	0,178
5	-0,014	8,165	0,147	-0,050	12,023	0,064	-0,025	8,162	0,148
6	-0,022	8,858	0,182	0,118	20,964	0,054	-0,029	10,654	0,100
7	-0,018	9,299	0,232	-0,095	26,776	0,148	-0,045	16,799	0,019
8	0,012	9,510	0,301	-0,025	27,177	0,468	0,025	18,641	0,017
9	-0,017	9,929	0,356	0,038	28,101	0,718	0,017	19,529	0,021
10	-0,010	10,071	0,434	0,048	29,578	0,197	-0,005	19,593	0,033
11	-0,024	10,840	0,457	-0,036	30,389	0,100	-0,008	19,799	0,048
12	-0,013	11,067	0,523	0,022	30,688	0,067	-0,006	19,923	0,069
13	0,006	11,124	0,600	-0,055	32,616	0,059	-0,022	21,362	0,066
14	-0,011	11,290	0,663	0,010	32,683	0,084	-0,023	22,957	0,061
15	0,047	14,380	0,497	0,001	32,684	0,081	0,006	23,076	0,083

Zdroj: vlastní zpracování na základě výsledků získaných pomocí programu EViews

Pro poslední index, index DAX jsou výsledné hodnoty autokorelační analýzy uvedeny v Tab. 5.6. Na základě uvedených hodnot lze konstatovat, že v žádném období nelze zamítnout hypotézu náhodné procházky, jelikož pro všechna zpoždění jsou  $p$ -hodnoty vyšší než 5 %. Na německém trhu tedy ve sledovaném období byla pomocí Ljung – Boxova testu potvrzena existence efektivního trhu ve slabé formě.

Tab. 5.6 Výsledky autokorelační analýzy pro časové řady logaritmických výnosů indexu DAX

Zpoždění	1. období			2. období			3. období		
	ACF	Q-stat.	p-hod,	ACF	Q-stat.	p-hod,	ACF	Q-stat.	p-hod,
1	-0,039	2,101	0,147	0,012	0,096	0,756	0,005	0,081	0,776
2	0,027	3,088	0,214	0,020	0,352	0,839	-0,013	0,586	0,746
3	0,008	3,184	0,364	-0,074	3,821	0,282	0,027	2,733	0,435
4	0,019	3,705	0,447	-0,064	6,412	0,170	-0,024	4,446	0,349
5	-0,027	4,698	0,454	-0,032	7,084	0,214	-0,011	4,810	0,439
6	-0,035	6,357	0,384	0,081	11,230	0,082	-0,032	7,934	0,243
7	-0,034	7,940	0,338	-0,051	12,905	0,074	-0,053	16,352	0,052
8	0,005	7,981	0,435	0,035	13,695	0,090	0,013	16,833	0,062
9	-0,004	8,003	0,534	-0,035	14,485	0,106	0,023	18,422	0,061
10	-0,013	8,247	0,605	0,069	17,541	0,063	-0,022	19,934	0,060
11	-0,005	8,286	0,687	-0,045	18,818	0,064	0,001	19,936	0,086
12	-0,032	9,677	0,644	-0,049	20,349	0,061	-0,002	19,949	0,068
13	-0,019	10,180	0,679	-0,004	20,358	0,087	-0,001	19,952	0,096
14	-0,036	11,943	0,611	0,072	23,709	0,050	-0,016	20,722	0,109
15	0,043	14,469	0,490	0,040	24,770	0,053	0,018	21,696	0,116

Zdroj: vlastní zpracování na základě výsledků získaných pomocí programu EViews

Pro větší přehlednost je shrnutí výsledků Ljung-Boxova testu znázorněno v Tab. 5.7.

Tab. 5.7 Shrnutí výsledků Ljung-Boxova testu v podobě přijetí či zamítnutí nulové hypotézy

	1. období	2. období	3. období
<b>S&amp;P 500</b>	✓	×	×
<b>FTSE 100</b>	×	✓	✓
<b>CAC 40</b>	×	✓	×
<b>DAX</b>	✓	✓	✓

Zdroj: vlastní zpracování

#### 5.1.4 Test poměrem rozptylů

Test poměrem rozptylů bude v rámci této práce použit pro testování hypotézy náhodné procházky typu 1. Veškeré výpočty budou provedeny ve statistickém programu EViews a pro testování budou použity časové řady logaritmických výnosů jednotlivých indexů. V případě potvrzení nulové hypotézy bude platit, že se hodnota poměru rozptylů bude blížit jedné a daná časová řada tudíž bude splňovat hypotézu náhodné procházky, což znamená, že výnosy v časové řadě jsou vzájemně nezávislé. Test byl použit pro 2, 4, 8 a 16 časových zpoždění, přičemž veškeré výsledky jsou uvedeny v příloze č. 2. V Tab. 5.8 lze vidět pouze



hodnoty pro 2 a 4 zpoždění, přičemž uvedené  $p$ -hodnoty byly zjištěny pomocí sdruženého testu.

Tab. 5.8 Výsledky testu poměrem rozptylů

		Zpoždění	Podíl rozptylů	z-statistika	$p$ -hodnota	$H_0$
1. období	S&P 500	2	0,960	-1,500	0,087	✓
		4	0,908	-1,823		
	FTSE 100	2	0,903	-3,584	0,001	×
		4	0,845	-3,068		
	CAC 40	2	0,931	-2,546	0,043	×
		4	0,899	-2,010		
	DAX	2	0,961	-1,448	0,472	✓
		4	0,973	-0,536		
2. období	S&P 500	2	0,834	-4,168	$1 \cdot 10^{-4}$	×
		4	0,779	-2,971		
	FTSE 100	2	0,976	-0,604	0,256	✓
		4	0,915	-1,139		
	CAC 40	2	0,978	-0,550	0,166	✓
		4	0,906	-1,257		
	DAX	2	1,012	0,296	0,860	✓
		4	1,001	0,016		
3. období	S&P 500	2	0,953	-2,548	0,026	×
		4	0,950	-1,453		
	FTSE 100	2	0,991	-0,503	0,222	✓
		4	0,995	-0,150		
	CAC 40	2	0,986	-0,737	0,040	×
		4	0,970	-0,862		
	DAX	2	1,005	0,250	0,553	✓
		4	1,009	0,261		

Zdroj: vlastní zpracování na základě výsledků získaných pomocí programu EViews

V rámci výpočtů byla uvažována hladina významnosti ve výši 5 %, interval kritického oboru je tedy v tomto případě  $\langle -1,96; 1,96 \rangle$ . V případě indexu S&P 500 lze vidět, že v prvním období leží vypočtená statistika v kritickém oboru, což znamená, že lze přijmout nulovou hypotézu a tudíž potvrdit vzájemnou nezávislost výnosů v časové řadě. Ke stejnému závěru lze dojít při zkoumání  $p$ -hodnoty, jelikož ta je v tomto případě větší než 5 %. Pro druhé a třetí období však přijmout nulovou hypotézu nelze, jelikož  $p$ -hodnota je nižší než 5% hladina významnosti. Pro první období indexu FTSE 100 platí, že nulovou hypotézu nelze přijmout, avšak ve druhém a třetím období přijata bude a tudíž bude potvrzena i hypotéza náhodné procházky typu 1. Pro index CAC 40 platí v prvním a druhém období stejné závěry jako

u indexu FTSE 100, ve třetím období však hypotézu náhodné procházky nelze potvrdit. U posledního indexu, indexu DAX, je potvrzena nezávislost výnosů v časových řadách ve všech sledovaných obdobích. Ve všech případech, kdy byla nulová hypotéza přijata, zároveň platí, že se hodnota poměru rozptýlů velmi blíží jedné.

## 5.2 Nelineární metody

V další části práce budou uvedeny výsledky získané použitím nelineárních metod, kterými jsou BDS test, ARCH test a Whiteův test. Všechny uvedené hodnoty byly vypočteny pomocí statistického programu EViews a nejpodstatnější údaje jsou uvedeny v tabulkách se zaokrouhlením na tři desetinná místa. Veškeré ostatní získané hodnoty jsou potom pro každý test zvlášť uvedeny v přílohách č. 3, 4 a 5.

### 5.2.1 BDS test

BDS test je používán pro testování hypotézy náhodné procházky typu 1. Byl proveden pomocí statistického programu EViews, přičemž byly použity časové řady logaritmických výnosů. Pro provedení tohoto testu byly zvoleny dimenze vnoření 2 až 6, v Tab. 5.9 jsou však jako příklad uvedeny pouze 2 a 3, výsledky ostatních lze nalézt v příloze č. 3. Zvolená vzdálenost  $\varepsilon$  byla nastavena automaticky programem EViews a její hodnoty lze také vidět v tabulce společně s vypočtenou  $z$ -statistikou a  $p$ -hodnotou. Výpočty byly prováděny na 5% hladině významnosti. Jak již bylo zmíněno v podkapitole 3.3.1, kde byl tento test popsán teoreticky, v případě platnosti nulové hypotézy lze konstatovat, že data jsou nezávislá a mají stejné rozdělení pravděpodobnosti.

V Tab. 5.9 jsou postupně uvedeny výsledky BDS testu pro jednotlivé indexy a zvolená období. Lze vidět, že téměř ve všech případech je  $p$ -hodnota menší než 5 % a tudíž je zamítnuta nulová hypotéza, což znamená, že nelze říci, že data jsou nezávislá a mají stejné rozdělení pravděpodobnosti. Výjimkou je index S&P 500 v 1. období, kdy je  $p$ -hodnota pro obě uvedené dimenze vnoření větší než 0,05. V tomto případě tedy nelze jednoznačně zamítnout nulovou hypotézu, a tudíž lze předpokládat, že mezi logaritmickými výnosy v časové řadě indexu S&P 500 v 1. období neexistuje závislost mezi daty. Mezi hodnotami není tedy možné vypožorovat určité trendy a zároveň lze konstatovat, že data mají stejné

rozdělení pravděpodobnosti. Z výsledků tohoto testu je patrné, že u zvolených časových řad indexů nelze jednoznačně potvrdit existenci slabé formy efektivnosti trhu.

Tab. 5.9 Výsledky BDS testu

		dimenze vnoření	z-stat.	p-hod.	$\varepsilon$	$H_0$
1. období	S&P 500	2	1,704	0,089	0,008	✓
		3	1,391	0,164		
	FTSE 100	2	5,823	$6 \cdot 10^{-9}$	0,008	×
		3	5,117	$3 \cdot 10^{-7}$		
	CAC 40	2	3,841	$1 \cdot 10^{-4}$	0,010	×
		3	3,280	0,001		
	DAX	2	4,224	$2 \cdot 10^{-5}$	0,011	×
		3	3,595	$3 \cdot 10^{-4}$		
2. období	S&P 500	2	3,943	$1 \cdot 10^{-4}$	0,023	×
		3	4,120	$4 \cdot 10^{-5}$		
	FTSE 100	2	2,929	0,003	0,020	×
		3	2,617	0,009		
	CAC 40	2	1,993	0,048	0,038	×
		3	3,651	$3 \cdot 10^{-4}$		
	DAX	2	2,448	0,014	0,020	×
		3	2,257	0,024		
3. období	S&P 500	2	7,519	$6 \cdot 10^{-14}$	0,009	×
		3	7,798	$6 \cdot 10^{-15}$		
	FTSE 100	2	8,380	$5 \cdot 10^{-17}$	0,010	×
		3	7,904	$3 \cdot 10^{-15}$		
	CAC 40	2	7,220	$5 \cdot 10^{-13}$	0,014	×
		3	6,883	$6 \cdot 10^{-12}$		
	DAX	2	5,301	$1 \cdot 10^{-7}$	0,013	×
		3	4,739	$2 \cdot 10^{-6}$		

Zdroj: vlastní zpracování na základě výsledků získaných pomocí programu EViews

## 5.2.2 ARCH test

Test autoregresní podmíněné heteroskedasticity je další nelineární metodou pro testování náhodné procházky typu 2 a 3. Tento test bude opět proveden ve statistickém programu EViews, a to na základě časových řad logaritmických výnosů jednotlivých indexů. V případě platnosti nulové hypotézy, kdy jsou všechny parametry  $\alpha$  simultánně nulové lze konstatovat, že časová řada je homoskedastická. V případě platnosti hypotézy alternativní,

kdy alespoň jeden parametr  $\alpha$  je nenulový, dochází k odhalení heteroskedasticity. Při výpočtech bude uvažována hladina významnosti ve výši 5 %.

V Tab. 5.10 jsou uvedeny hodnoty  $t$ -statistiky a  $p$ -hodnoty pro zvolené indexy a pro 5 zpoždění. Veškeré další výsledky ARCH testu jsou uvedeny v příloze č. 4. Z vypočtených hodnot lze zjistit, že v žádném případě nemůže být přijata nulová hypotéza a tedy potvrzena slabá forma efektivnosti trhu, jelikož vždy lze alespoň u jednoho zpoždění vidět, že  $p$ -hodnota je nižší než 5 % a tedy alespoň jeden parametr  $\alpha$  je statisticky významný.

Tab. 5.10 Výsledky ARCH testu

Zpoždění			1	2	3	4	5	H <sub>0</sub>
1. období	S&P 500	t-stat.	2,609	0,236	2,650	-1,321	1,121	×
		p-hod.	0,009	0,813	0,008	0,187	0,263	
	FTSE 100	t-stat.	7,502	-0,832	6,350	-1,148	3,310	×
		p-hod.	$1 \cdot 10^{-13}$	0,405	$3 \cdot 10^{-10}$	0,251	0,001	
	CAC 40	t-stat.	3,538	3,206	0,616	0,283	2,591	×
		p-hod.	$4 \cdot 10^{-4}$	0,001	0,538	0,777	0,010	
	DAX	t-stat.	3,182	0,878	-0,564	0,317	2,961	×
		p-hod.	0,002	0,380	0,573	0,752	0,003	
2. období	S&P 500	t-stat.	1,880	4,418	-0,427	1,911	0,707	×
		p-hod.	0,061	$1 \cdot 10^{-5}$	0,670	0,056	0,480	
	FTSE 100	t-stat.	-0,736	2,952	3,512	4,143	3,366	×
		p-hod.	0,462	0,003	$5 \cdot 10^{-4}$	$4 \cdot 10^{-5}$	$8 \cdot 10^{-4}$	
	CAC 40	t-stat.	-1,137	3,667	5,105	2,680	1,141	×
		p-hod.	0,256	$3 \cdot 10^{-4}$	$4 \cdot 10^{-7}$	0,008	0,254	
	DAX	t-stat.	-0,478	2,712	3,879	1,854	1,649	×
		p-hod.	0,633	0,007	$1 \cdot 10^{-4}$	0,064	0,100	
3. období	S&P 500	t-stat.	7,942	6,751	1,943	5,528	2,443	×
		p-hod.	$3 \cdot 10^{-15}$	$2 \cdot 10^{-11}$	0,052	$4 \cdot 10^{-8}$	0,015	
	FTSE 100	t-stat.	6,438	3,564	4,636	1,764	5,176	×
		p-hod.	$1 \cdot 10^{-10}$	$4 \cdot 10^{-4}$	$4 \cdot 10^{-6}$	0,078	$2 \cdot 10^{-7}$	
	CAC 40	t-stat.	1,848	2,378	5,477	5,894	3,069	×
		p-hod.	0,065	0,017	$5 \cdot 10^{-8}$	$4 \cdot 10^{-9}$	0,002	
	DAX	t-stat.	4,484	4,428	3,696	3,906	3,427	×
		p-hod.	$8 \cdot 10^{-6}$	$1 \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-4}$	$6 \cdot 10^{-4}$	

Zdroj: vlastní zpracování na základě výsledků získaných pomocí programu EViews

U indexu S&P 500 nelze v prvním období přijmout nulovou hypotézu z důvodu nízkých  $p$ -hodnot u prvního a třetího zpoždění. Ve druhém období je to potom hodnota u druhého zpoždění a ve třetím období jsou statisticky významné parametry  $\alpha$  u všech

zpoždění, s výjimkou třetího. U indexu FTSE 100 byly v prvním období nalezeny tři statisticky významné  $\alpha$  a v dalších obdobích dokonce čtyři. Pro index CAC 40 platí podobná situace, o žádném období tedy nelze říci, že by všech pět parametrů bylo současně nulových. U posledního indexu byly zjištěny v prvních dvou obdobích dva nenulové parametry a v posledním období je nenulových dokonce všech pět.

Stejných závěrů by bylo dosaženo i v případě porovnání vypočtené  $t$ -statistiky a kritického oboru, který je v tomto případě tvořen intervalem  $\langle -1,96; 1,96 \rangle$ . Pokud hodnota vypočtené statistiky leží uvnitř kritického oboru, je přijata nulová hypotéza, pokud tomu tak není, přijímá se hypotéza alternativní. Uvedenými skutečnostmi je potvrzeno zamítnutí nulové hypotézy pro všechny indexy a všechna uvažovaná období. Dochází tedy k přijetí hypotézy alternativní, což znamená, že mezi daty lze nalézt heteroskedasticitu. Hypotéza náhodné procházky tedy není potvrzena a nelze hovořit o existenci trhu ve slabé formě efektivnosti.

### 5.2.3 Whiteův test

Whiteův test je používán pro testování hypotézy náhodné procházky typu 2 a 3, přičemž je testována heteroskedasticita náhodných složek nebo reziduí. Podmínka použití minimálně třiceti dat byla v rámci této práce splněna. Výpočty budou opět provedeny v programu EViews za použití časových řad logaritmických výnosů. V rámci tohoto testu dochází k vytvoření pomocného modelu, přičemž princip jeho sestavení byl popsán v rovnici (3.47). Aby mohla být potvrzena nulová hypotéza, musí být splněna podmínka, kdy všechny parametry  $\alpha$  pomocného modelu jsou současně rovny nule a tedy statisticky nevýznamné. V takovém případě je časová řada homoskedastická a změny rozptylu původních chyb nejsou závislé na některém z regresorů výchozího modelu. V opačném případě lze potvrdit heteroskedasticitu a závislost na některém regresoru původního modelu.

V Tab. 5.11 jsou uvedeny hodnoty  $t$ -statistiky a  $p$ -hodnoty pro zvolené indexy. Veškeré další výsledky Whiteova testu jsou uvedeny v příloze č. 5. Na základě vypočtených hodnot lze konstatovat, že u žádné časové řady nemůže být přijata nulová hypotéza, čímž by byla potvrzena existence efektivního trhu. Důvodem je skutečnost, že ve všech

případech je alespoň jeden parametr  $\alpha$  statisticky významný, jelikož  $p$ -hodnota je nižší než 5 %.

Tab. 5.11 Výsledky Whiteova testu

Zpoždění			$(t-1)^2$	$(t-1) \cdot (t-2)$	$(t-1)$	$(t-2)^2$	$(t-2)$	$H_0$
1. období	S&P 500	t-stat.	2,240	0,127	-1,556	0,279	-2,165	×
		p-hod.	0,025	0,899	0,120	0,780	0,031	
	FTSE 100	t-stat.	6,525	-0,639	-3,593	0,592	-2,879	×
		p-hod.	$1 \cdot 10^{-10}$	0,523	$3 \cdot 10^{-4}$	0,554	0,004	
	CAC 40	t-stat.	3,724	-2,699	-0,975	2,086	-4,565	×
		p-hod.	$2 \cdot 10^{-4}$	0,007	0,330	0,037	$5 \cdot 10^{-6}$	
	DAX	t-stat.	2,836	-1,443	-1,515	-0,039	-3,817	×
		p-hod.	0,005	0,149	0,130	0,969	$1 \cdot 10^{-4}$	
2. období	S&P 500	t-stat.	1,727	0,822	-2,626	4,553	0,985	×
		p-hod.	0,085	0,412	0,009	$6 \cdot 10^{-6}$	0,325	
	FTSE 100	t-stat.	1,057	1,135	-0,898	4,416	-1,032	×
		p-hod.	0,291	0,257	0,369	$4 \cdot 10^{-5}$	0,303	
	CAC 40	t-stat.	0,501	0,231	-1,195	4,638	-1,393	×
		p-hod.	0,616	0,818	0,232	$4 \cdot 10^{-6}$	0,164	
	DAX	t-stat.	0,488	1,638	-0,657	3,203	-0,490	×
		p-hod.	0,626	0,102	0,511	0,001	0,624	
3. období	S&P 500	t-stat.	7,488	-4,301	-3,452	6,307	-1,685	×
		p-hod.	$9 \cdot 10^{-14}$	$2 \cdot 10^{-5}$	$6 \cdot 10^{-4}$	$3 \cdot 10^{-10}$	0,092	
	FTSE 100	t-stat.	7,458	-5,726	-2,571	4,577	-1,017	×
		p-hod.	$1 \cdot 10^{-13}$	$1 \cdot 10^{-8}$	0,010	$5 \cdot 10^{-6}$	0,309	
	CAC 40	t-stat.	2,942	-2,633	-1,823	3,058	-2,337	×
		p-hod.	0,003	0,009	0,068	0,002	0,020	
	DAX	t-stat.	5,094	-1,067	-3,089	5,464	-1,276	×
		p-hod.	$4 \cdot 10^{-7}$	0,286	0,002	$5 \cdot 10^{-8}$	0,202	

Zdroj: vlastní zpracování na základě výsledků získaných pomocí programu EViews

U indexu S&P 500 je nulová hypotéza v prvním období zamítnuta z důvodu statisticky významných parametrů  $\alpha_2$  a  $\alpha_6$ . Ve druhém období jsou to parametry  $\alpha_4$  a  $\alpha_5$ , a ve třetím období jsou statisticky významné parametry  $\alpha$  v prvních čtyřech uvedených případech. U indexu FTSE 100 byly v prvním období nalezeny tři statisticky významné  $\alpha$ , ve druhém jedna a ve třetím období čtyři. Také tedy neplatí nulové hodnoty pro všechny parametry současně. Pro první a třetí období indexu CAC 40 existují čtyři statisticky významné parametry, ve druhém období potom pouze jeden, a to  $\alpha_5$ . U posledního indexu, indexu

DAX, rovněž nelze přijmout nulovou hypotézu z důvodu dvou nenulových parametrů v prvním období, jednoho ve druhém období a tří v období třetím.

Tyto závěry lze ověřit ještě porovnáním hodnot  $t$ -statistiky a kritického oboru, který je v tomto případě, při uvažování 5% hladiny významnosti tvořen intervalem  $<-1,96; 1,96>$ . V případě, že se hodnota  $t$ -statistiky nachází v uvedeném intervalu kritického oboru, je potvrzena nulová hypotéza, pokud hodnota leží mimo tento interval, je nulová hypotéza zamítnuta. Zjištěnými závěry je potvrzeno zamítnutí nulové hypotézy ve všech případech. Je přijata hypotéza alternativní, což znamená, že změny rozptylu původních chyb jsou závislé na některém z regresorů původního modelu. Nelze tedy potvrdit slabou formu efektivnosti trhu.

### 5.3 Shrnutí výsledků jednotlivých metod

V rámci této práce bylo pomocí různých metod testováno, zda na zvolených trzích lze potvrdit existenci efektivního trhu. Pro tyto účely byly zvoleny čtyři akciové trhy, a to americký, který je reprezentován indexem S&P 500, britský reprezentovaný indexem FTSE 100, francouzský s indexem CAC 40 a německý, kde je nejvýznamnější index DAX. Časové řady logaritmických výnosů byly rozděleny do tří období, a to období od 1. 1. 2004 do 9. 10. 2007, které reprezentuje období před krizí, od 10. 10. 2007 až 30. 6. 2009 je období, po které probíhala krize a následně od 1. 7. 2009 až do 22. 8. 2017, což je chápáno jako období po krizi. V úvodu předchozí kapitoly byly popsány nejznámější burzy na těchto trzích a uvedeny základní informace o indexech. Dále byly uvedeny hodnoty deskriptivních statistik a bylo zjištěno, že pro časové řady logaritmických výnosů neplatí normální rozdělení pravděpodobnosti. Normalita časových řad však nebyla nutným předpokladem pro použití vybraných testů.

Obsahem této kapitoly bylo použití zvolených metod pro posouzení, zda jednotlivé trhy byly alespoň v některém z uvedených období efektivní ve slabé formě. V rámci práce byly použity jak lineární, tak také nelineární metody, přičemž shrnutí výsledků těchto jednotlivých metod je popsáno v dalším textu. Jako vstupní data byly použity uzavírací kurzy jednotlivých indexů, a to na denní bázi. Pro přesnější analýzy by však byla vhodnější intradenní data, která však nejsou veřejně dostupná a proto v této práci nemohla být použita.

Je třeba také zmínit, že při výpočtech nebyly brány v úvahu transakční ani informační náklady či riziková premie. V rámci práce nebylo také ověřováno, zda jsou na daných trzích splněny institucionální podmínky, kterými jsou ziskový motiv investorů, konkurenční trh, volný, nepřetržitý tok informací, kvalitní infrastruktura trhu, likvidní trh a kvalitní právní legislativa. Tyto podmínky byly podrobněji popsány v podkapitole 2.3. Důvodem abstrahování od těchto podmínek je rozsah práce a odlišné vymezení cíle. V případě snahy o ověření podmínky ziskového motivu investorů by bylo třeba také určit parametry, jako jsou stupeň rizikovosti trhu či likvidita. Tyto skutečnosti jsou často pro ziskový motiv určující, avšak jejich jednoznačné určení je velmi problematické, jelikož dochází k jejich změnám v čase. Pro analýzu však byly zvoleny akciové trhy rozvinutých ekonomik, u kterých lze splnění uvedených podmínek předpokládat.

Pro testování existence slabé formy efektivnosti byly nejprve použity **lineární metody**, kterými jsou test sekvencí a zvrátů, runs test, byla provedena autokorelační analýza, Ljung-Box test a test poměrem rozptylů. Tyto metody byly použity na časové řady logaritmických výnosů amerického indexu S&P 500, britského indexu FTSE 100, francouzského CAC 40 a německého DAX. Každá metoda je používána pro testování některého typu náhodné procházky, přičemž vždy byly testovány nulová a alternativní hypotéza. V případě platnosti nulové hypotézy by byla potvrzena hypotéza náhodné procházky a tedy existence efektivního trhu ve slabé formě. V Tab. 5.12 je zobrazeno přiřazení jednotlivých typů náhodné procházky k použitým lineárním metodám.

**Tab. 5.12 Přiřazení jednotlivých typů náhodné procházky k použitým lineárním metodám**

	<b>RW1</b>	<b>RW2</b>	<b>RW3</b>
<b>Test sekvencí a zvrátů</b>	✓		
<b>Runs test</b>	✓		
<b>Ljung-Box test</b>			✓
<b>Test poměrem rozptylů</b>	✓		

Zdroj: vlastní zpracování

V Tab. 5.13 jsou uvedeny výsledky jednotlivých lineárních metod v podobě přijetí či zamítnutí nulové hypotézy o existenci efektivního trhu. Znak ✓ je použit pro přijetí nulové hypotézy a znak × pro její zamítnutí. Na základě uvedených výsledků lze vidět, že při použití testu sekvencí a zvrátů nebyla přijata nulová hypotéza ani v jednom případě. To znamená, že pro žádnou časovou řadu logaritmických výnosů nelze potvrdit hypotézu efektivního trhu.



Stejných výsledků týkajících se zamítnutí či nezamítnutí nulové hypotézy bylo dosaženo i pomocí druhého lineárního testu, runs testu.

Na základě Ljung-Boxova testu je však nutné učinit jiné závěry, jelikož u indexu S&P 500 v prvním období neexistuje statisticky významná autokorelace mezi logaritmickými výnosy pro žádné z uvedených patnácti zpoždění. V tomto případě tedy nelze nulovou hypotézu zamítnout a lze předpokládat existenci slabé formy efektivnosti trhu. Stejná situace platí i pro logaritmické výnosy indexu FTSE 100 ve druhém a třetím období, kdy lze předpokládat jejich nezávislý vývoj a tedy potvrdit hypotézu efektivního trhu. U výnosů indexu CAC 40 byla zjištěna statisticky významná autokorelace mezi hodnotami v prvním a třetím období a tudíž nelze přijmout nulovou hypotézu a existence efektivního trhu musí být zamítnuta. Pro index DAX platí, že nelze zamítnout nulovou hypotézu ani v jednom ze tří období, jelikož zde nebyla zjištěna autokorelace žádného řádu. Stejně závěry je možné učinit i v případě testu poměrem rozptylů.

Tab. 5.13 Výsledky použitých lineárních metod v podobě přijetí či zamítnutí nulové hypotézy

	Test sekvencí a zvrátů			Runs test		
	1. ob.	2. ob.	3. ob.	1. ob.	2. ob.	3. ob.
<b>S&amp;P 500</b>	×	×	×	×	×	×
<b>FTSE 100</b>	×	×	×	×	×	×
<b>CAC 40</b>	×	×	×	×	×	×
<b>DAX</b>	×	×	×	×	×	×
	Ljung-Box test			Test poměrem rozptylů		
<b>S&amp;P 500</b>	✓	×	×	✓	×	×
<b>FTSE 100</b>	×	✓	✓	×	✓	✓
<b>CAC 40</b>	×	✓	×	×	✓	×
<b>DAX</b>	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Zdroj: vlastní zpracování

Dále budou popsány závěry **nelineárních metod**, přičemž nejprve je třeba opět přiřadit k použitým nelineárním metodám jednotlivé typy náhodné procházky, k čemuž je určena Tab. 5.14.

Tab. 5.14 Přiřazení jednotlivých typů náhodné procházky k použitým nelineárním metodám

	RW1	RW2	RW3
<b>BDS test</b>	✓		
<b>ARCH test</b>		✓	✓
<b>Whiteův test</b>		✓	✓

Zdroj: vlastní zpracování

V Tab. 5.15 jsou poté uvedeny závěry týkající se zamítnutí či nezamítnutí nulové hypotézy u použitých nelineárních metod, kterými jsou BDS test, ARCH test a Whiteův test. U BDS testu došlo k nezamítnutí nulové hypotézy v jednom případě, kterým je časová řada logaritmických výnosů indexu S&P 500 v prvním období. V tomto případě lze tedy předpokládat, že neexistuje statisticky významná závislost mezi daty a tato data mají stejné rozdělení pravděpodobnosti. Pro index FTSE 100 a index DAX už potom nebyla nulová hypotéza přijata v žádném případě. Dalšími použitými testy, kterými jsou ARCH test a Whiteův test, došlo k zamítnutí nulové hypotézy pro všechny časové řady zvolených indexů. Pomocí nelineárních metod tedy nelze v žádném případě jednoznačně potvrdit existenci efektivního trhu ve slabé formě.

Tab. 5.15 Výsledky použitých nelineárních metod v podobě přijetí či zamítnutí nulové hypotézy

	BDS test			ARCH test			Whiteův test		
	1. ob.	2. ob.	3. ob.	1. ob.	2. ob.	3. ob.	1. ob.	2. ob.	3. ob.
<b>S&amp;P 500</b>	✓	×	×	×	×	×	×	×	×
<b>FTSE 100</b>	×	×	×	×	×	×	×	×	×
<b>CAC 40</b>	×	×	×	×	×	×	×	×	×
<b>DAX</b>	×	×	×	×	×	×	×	×	×

Zdroj: vlastní zpracování

Z uvedených výsledků lze vidět, že pokud by byly brány v úvahu všechny použité metody, je třeba přihlédnout ke skutečnosti, že závěry metod nejsou vždy shodné. U indexu S&P v prvním období tedy s přihlédnutím k výsledkům všech metod nelze jednoznačně zamítnout hypotézu efektivního trhu. Mezi logaritmickými výnosy nebyla vždy objevena statisticky významná závislost. Tato skutečnost je dána velkým množstvím akciových titulů, které jsou v bázi tohoto indexu obsaženy. Jelikož je v bázi zastoupeno celkem 500 akciových titulů významných společností, je zajištěna dostatečná diverzifikace, čímž je efektivnost trhu podpořena. Po nástupu krize, která měla určitý dopad na všechny akciové trhy, byla zaznamenána závislost mezi výnosy a efektivnost trhu byla narušena.

U evropských trhů jsou však výsledky rozdílné. V těchto případech došlo k potvrzení efektivnosti trhu některými metodami zejména v období krizovém a následujícím. Rozdílný vývoj může být způsoben jinou strukturou indexů. Zatímco u amerického indexu je v bázi obsaženo velké množství akciových titulů, přičemž váha žádného nepřesahuje 4 %, u evropských indexů je situace jiná. V bázi indexu FTSE 100 lze nalézt pouze pětinu akciových titulů oproti indexu S&P 500 a váhy zde dosahují i 8 %, báze indexu CAC 40 je potom složena pouze ze 40 titulů a v bázi indexu DAX je jich ještě o 10 méně.

Problematika tématu této diplomové práce by mohla být ještě rozšířena o použití dalších statistických lineárních a nelineárních metod či metod umělé inteligence. Vhodné by bylo také použití dat vyšší frekvence, tedy intradenních dat, pomocí kterých lze odhalit nové skutečnosti v oblasti dynamiky. Na trhu působí investoři obchodující i několikrát denně za účelem dosažení zisku a při použití denních uzavíracích kurzů nevstupují tyto skutečnosti do výpočtů. Pro tento účel je třeba použít právě intradenní data, která však nejsou běžně dostupná. Další možností rozšíření zvoleného tématu je také využití delších časových řad, prostřednictvím kterých lze lépe zachytit vývoj ekonomiky, jako jsou například střídající se fáze růstu a poklesu.

## 6 Závěr

Cílem investorů je zpravidla dosažení zisku na základě nalezení nesprávně oceněných cenných papírů na trhu. Pro toto odhalení lze použít různé typy analýz, jako jsou například technická či fundamentální analýza. Pokud by však na trzích platila hypotéza efektivních trhů, tyto analýzy by byly zbytečné, jelikož veškeré informace by byly téměř okamžitě promítnuty do cen aktiv. Tudíž by nebylo možné dosáhnout vyšších než průměrných výsledků. Nejvhodnější strategií by tedy v takovém případě byla strategie „koupit a držet“, jelikož touto pasivní strategií bude na efektivním trhu dosaženo v průměru stejných výsledků jako v případě aktivních nákupů a prodejů. Hodnota čistého zisku však bude vyšší v důsledku nižších transakčních nákladů. Vhodným způsobem pro investování volných peněžních prostředků jsou dnes také pravidelné investice do podílových fondů, které jsou využívány i drobnými investory.

Cílem diplomové práce bylo empirické testování slabé formy informační efektivnosti na britském, francouzském, německém a americkém akciovém trhu pomocí lineárních a nelineárních statistických metod. Byla použita data o denní frekvenci v období od 1. 1. 2004 do 22. 8. 2017. Zvoleny byly tři vyspělé evropské trhy a americký trh jako reprezentant globálního akciového trhu. Tyto trhy byly reprezentovány nejvýznamnějšími indexy, a to indexy FTSE 100, CAC 40, DAX a S&P 500. Testovací období bylo rozděleno do tří dílčích částí, a to do období předkrizového od 1. 1. 2004 do 9. 10. 2007, dále následovalo až do 30. 6. 2009 období krizové a třetí období bylo poté vymezeno do 22. 8. 2017.

V první, teoretické části práce, byla charakterizována podstata hypotézy efektivního trhu, včetně historie jejího vzniku a vymezení jednotlivých forem, kterými jsou slabá, středně silná a silná forma. Největší pozornost však byla věnována typickým předpokladům, které musí být naplněny, aby mohlo být o trhu mluveno jako o efektivním. Dále byla větší část kapitoly věnována typickým projevům efektivního trhu, jako je například okamžitá reakce kurzů na novou a neočekávanou informaci. Existují však také skutečnosti, kterými je efektivnost trhu narušována, tyto situace se nazývají tržní anomálie. Tyto pravidelně se opakující situace jsou v rámci kapitoly také přiblíženy. Mezi nejznámější anomálie na trhu patří například lednový či pondělní efekt. V závěru teoretické části práce je následně vysvětlena podstata behaviorálních financí.

V další části, zaměřené na metodologii, byly detailněji popsány modely efektivních trhů a jejich předpoklady. Dále byl uveden princip vybraných metod, které byly následně v aplikační části práce použity pro testování existence slabé formy efektivnosti na trzích. V programech Microsoft Excel a Eviews byly provedeny lineární i nelineární testy, konkrétně test sekvencí a zvrátů, runs test, autokorelační analýza včetně Ljung-Boxova testu, test poměrem rozptylů a dále také BDS test, ARCH test a Whiteův test. Na konci kapitoly byly také uvedeny potenciální problémy související s testováním efektivnosti trhu.

Obsahem navazující kapitoly je vymezení vstupních dat a jejich popis v podobě určení střední hodnoty, mediánu, maxima, minima, směrodatné odchylky, rozptylu, šikmosti a špičatosti. Jak již bylo zmíněno, pro testování byly vybrány čtyři významné trhy, přičemž každý trh byl reprezentován nejvýznamnějším indexem obchodovaným na burze v dané zemi. V rámci této části práce byly jednotlivé burzy a indexy přiblíženy. Konkrétně se jedná o newyorskou burzu a index S&P 500, londýnskou burzu s indexem FTSE 100, pařížskou s indexem CAC 40 a frankfurtskou s indexem DAX. Obsahem kapitoly je také popis globální finanční krize, jejíž trvání je důležité pro rozdělení testovaného časového období do jednotlivých částí.

V rámci praktické části byly postupně testovány časové řady logaritmických výnosů indexů reprezentujících jednotlivé akciové trhy. V případě použitých lineárních testů nelze platnost hypotézy efektivního trhu jednoznačně zamítnout, jelikož byla v některých obdobích potvrzena závislost mezi zvolenými daty, a to jak na americkém, tak také na evropském trhu. Při použití nelineárních testů je však závěr jednoznačný, jelikož byla ve všech obdobích nalezena nelineární závislost mezi daty, hypotézu efektivního trhu nelze potvrdit. To znamená, že vývoj dat je možné popsat pomocí nějakého nelineárního modelu a na základě toho předpovídat budoucí výnosy.

Při výpočtech však bylo abstrahováno od rizikové prémie, transakčních a informačních nákladů. Rozdíl mezi americkým a evropským trhem byl nalezen také v souvislosti s analyzovanými obdobími. Na americkém trhu byla v průběhu předkrizového období objevena pomocí některých metod závislost mezi daty, avšak v průběhu období následujícího po vypuknutí finanční krize, jsou závěry všech použitých testů shodné, efektivnost trhu byla narušena a nelze ji tedy potvrdit. Na evropských trzích

však byly učiněny závěry opačné, zatímco v průběhu předkrizového období byla mezi daty v časových řadách nalezena statisticky významná závislost, v následujících obdobích už uvedený závěr nelze potvrdit.

## Seznam použité literatury

### Odborné publikace

- [1] ARLT, Josef a Markéta ARLTOVÁ. *Finanční časové řady*. Praha: Grada Publishing, 2003. ISBN 80-247-0330-0.
- [2] BACHELIER, Louis, M. H. A. DAVIS a Alison. ETHERIDGE. *Louis Bachelier's Theory of speculation: the origins of modern finance*. Princeton, N.J.: Princeton University Press, c2006. ISBN 06-911-1752-7.
- [3] BLAKE, David. *Analýza finančních trhů*. Praha: Grada, 1995. ISBN 80-716-9201-8.
- [4] CAMPBELL, J.Y., A.W. LO and A.C. MACKINLAY. *The Econometrics of Financial Markets*. New York: Princeton University Press, 1997. ISBN: 0-691-04301-9.
- [5] CIPRA, Tomáš. *Finanční ekonometrie*. 1. vyd. Praha: Ekopress, 2008. ISBN 978-80-86929-43-9.
- [6] FOSTER, John Bellamy a Fred MAGDOFF. *Velká finanční krize: příčiny a následky*. Všeň: Grimmus, 2009. ISBN 978-80-902831-1-4.
- [7] GUJARATI, Damodar N. a Dawn C. PORTER. *Basic econometrics*. 5th ed. New York: McGraw-Hill, 2009. ISBN 978-007-127625-2.
- [8] HAUGEN, Robert A. *Modern investment theory*. 5th ed. Upper Saddle River: Prentice Hall, c2001. ISBN 0-13-019170-1.
- [9] HENDL, Jan. *Přehled statistických metod: analýza a metaanalýza dat*. 3., přeprac. vyd. Praha: Portál, 2009. ISBN 978-80-7367-482-3.
- [10] HUŠEK, Roman. *Aplikovaná ekonometrie: teorie a praxe*. Praha: Oeconomica, 2009. ISBN 978-80-245-1623-3.
- [11] HUŠEK, Roman. *Ekonometrická analýza*. Praha: Oeconomica, 2007. ISBN 978-80-245-1300-3.

- [12] HUŠEK, Roman. *Základy ekonometrické analýzy II: Speciální postupy a techniky*. Praha: Vysoká škola ekonomická, 1998. ISBN 80-7079-441-0.
- [13] JÍLEK, Josef. *Akciové trhy a investování*. Praha: Grada Publishing, 2009. ISBN 978-80-247-2963-3.
- [14] KOZÁK, J., J. ARLT a R. HINDLS. *Úvod do analýzy ekonomických časových řad*. Praha: Vysoká škola ekonomická, 1994. ISBN 80-707-9760-6.
- [15] MALKIEL, Burton Gordon. *Náhodná procházka po Wall Street: časem prověřená strategie úspěšného investování*. Praha: Pragma, 2012. ISBN 978-80-7349-307-3.
- [16] MUSÍLEK, Petr. *Trhy cenných papírů*. 2., aktualiz. a rozš. vyd. Praha: Ekopress, 2011. ISBN 978-80-86929-70-5.
- [17] POLÁCH, Jiří. *Kapitálové trhy*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2002. ISBN 80-248-0134-5.
- [18] RACHEV, S., S. MITTNIK, F. FABOZZI, S. FOCARDI and T. JASIC. *Financial econometrics: from basics to advanced modeling techniques*. 1st Edition. Hoboken: John Wiley&Sons, 2007. ISBN 978-0-471-78450-0.
- [19] TSAY, Ruey S. *Analysis of financial time series*. 3rd ed. Hoboken: Wiley, 2010. ISBN 978-0-470-41435-4.
- [20] VESELÁ, Jitka. *Analýzy trhu cenných papírů*. Praha: Vysoká škola ekonomická, 1995. ISBN 80-707-9426-7.
- [21] VESELÁ, Jitka. *Investování na kapitálových trzích*. 2., aktualiz. vyd. Praha: Wolters Kluwer Česká republika, 2011. ISBN 978-80-7357-647-9.

### **Elektronické zdroje**

- [22] Bloomberg. *S&P 500 Index* [online]. B [2. 10. 2017]. Dostupné z: <https://www.bloomberg.com/quote/SPX:IND>



- [23] DAX. *The dax index world* [online]. DAX [3. 10. 2017]. Dostupné z: [https://www.dax-indices.com/document/Resources/Brochures/dax\\_index\\_world.pdf](https://www.dax-indices.com/document/Resources/Brochures/dax_index_world.pdf)
- [24] Deutsche Börse Group. *History of the Frankfurt Stock Exchange* [online]. DBG [21. 3. 2018]. Dostupné z: <http://deutsche-boerse.com/dbg-en/about-us/frankfurt-stock-exchange/history-of-the-frankfurt-stock-exchange>
- [25] Deutsche Börse Group. *The Frankfurt Stock Exchange* [online]. DBG [3. 10. 2017]. Dostupné z: <http://deutsche-boerse.com/dbg-en/about-us/frankfurt-stock-exchange>
- [26] DIVIŠ, Karel a Petr TEPLÝ. *Informační efektivnost burzovních trhů ve střední Evropě* [online]. 2004 [10. 2. 2018]. Dostupné z: <http://docplayer.cz/23974733-No-52-karel-divis-petr-teply-informacni-efektivnost-burzovnich-trhu-ve-stredni-evrope.html>
- [27] EURONEXT. *CAC 40 Factsheet* [online]. E [20. 3. 2018]. Dostupné z: [https://www.euronext.com/sites/www.euronext.com/files/cac\\_40\\_20170630.pdf](https://www.euronext.com/sites/www.euronext.com/files/cac_40_20170630.pdf)
- [28] EURONEXT. *Paris* [online]. E [2. 10. 2017]. Dostupné z: <https://www.euronext.com/en/node/447763>
- [29] FAMA, Eugene F. *Efficient Capital Markets: a Review of Theory and Empirical Work* [online]. 1970 [3. 10. 2017]. Dostupný z WWW: <<http://www.e-m-h.org/Fama70.pdf>>
- [30] FXstreet. *Legenda mezi burzami NYSE vznikla před 225 lety pod platanem* [online]. FXS [20. 3. 2018]. Dostupné z: <https://www.fxstreet.cz/zpravodajstvi-89758.html>
- [31] FXCM. *Paris Stock Exchange – Euronext Paris* [online]. FXCM [20. 3. 2018]. Dostupné z: <https://www.fxcm.com/insights/paris-stock-exchange/>
- [32] KAHNEMAN, Daniel and Amos TVERSKY. *Prospect Theory: An Analysis of Decision under Risk* [online]. 1979 [20. 3. 2018]. Dostupný z: [http://www.princeton.edu/~kahneman/docs/Publications/prospect\\_theory.pdf](http://www.princeton.edu/~kahneman/docs/Publications/prospect_theory.pdf)
- [33] KENDALL, Maurice G. and A. Bradford HILL. *The Analysis of Economic Time-Series-Part I: Prices*. [online]. 1953 [3. 10. 2017]. Dostupný z: <<http://www.e-m-h.org/KeHi53.pdf>>

- [34] LO, Andrew W. and A. Craig MACKINLAY. *The Size and Power of the Variance Ratio Test in Finite Samples*. [online]. 1989 [15. 3. 2018]. Dostupné z: <http://www.nber.org/papers/t0066.pdf>.
- [35] London Stock Exchange. *Indices* [online]. LSE [2. 10. 2017]. Dostupné z: <http://www.londonstockexchange.com/exchange/prices-and-markets/stocks/indices/ftse-indices.html>
- [36] London Stock Exchange. *Our history* [online]. LSE [2. 10. 2017]. Dostupné z: <http://www.londonstockexchange.com/products-and-services/rns/history/history.htm>
- [37] NYSE. *30 Years On - Black Monday Remembered* [online]. NYSE [20. 3. 2018]. Dostupné z: <https://www.nyse.com/article/nyse-black-monday-remembered>
- [38] NYSE. *History of the American Stock Exchange* [online]. NYSE [2. 10. 2017]. Dostupné z: <https://www.nyse.com/american-stock-exchange>
- [39] NYSE. *History of the Bell* [online]. NYSE [20. 3. 2018]. Dostupné z: <https://www.nyse.com/bell/history>.
- [40] OSBORNE, Matthew F. M. *Brownian Motion in the Stock Market*. [online]. 1959 [3. 10. 2017]. Dostupný z WWW: <<http://www.e-m-h.org/Osbo59.pdf>>
- [41] SEWELL, Martin. *Behavioural Finance*. [online]. 2007 [17. 3. 2018]. Dostupné z: <http://www.behaviouralfinance.net/behavioural-finance.pdf>
- [42] TRAN, Van Quang. *Testování slabé formy efektivnosti na českém akciovém trhu*. [online]. 2007 [5. 11. 2017]. Dostupné z: <https://www.vse.cz/polek/622>

## Seznam zkratek

ACF	Autocorrelation function, autokorelační funkce
AG	Aktiengesellschaft, akciová společnost
ARCH	Autoregressive conditional heteroskedasticity, autoregresní podmíněná heteroskedasticita
BASF	Badische Anilin- & Soda-Fabrik
BDS	Brock, Dechert, Scheinkman
BNP	Banque Nationale de Paris
BP	British Petroleum
CAC 40	Cotation Assistée en Continu 40
CJ poměr	Cowles-Jonesův poměr
CNS	Central News Service
DAX	Deutscher Aktienindex
ETNS	Edited Text News Service
FSE	Frankfurt Stock Exchange
FTSE 100	Financial Times Stock Exchange 100 Index
HSBC	Hongkong and Shanghai Banking Corporation
HV	Hospodářský výsledek
Inc.	incorporated, veřejná obchodní společnost
Kč	Koruna česká
LB	Ljung-Box
LSE	London Stock Exchange
LVMH	Moët Hennessy Louis Vuitton
MATIF	Marché à Terme International de France
NBER	The National Bureau of Economic Research, americký národní úřad pro ekonomické výzkumy
NYSE	New York Stock Exchange
PACF	Partial autocorrelation function, parciálně autokorelační funkce
PC	Personal computer, osobní počítač
P/E	Price-to-earnings ratio
RNS	Regulatory New Service

RW1	Random Walk 1
RW3	Random Walk 3
SA	Société anonyme, akciová společnost
S&P 500	Standard & Poor's 500
SE	Societa Europaea, evropská společnost
SBF	Société des bourses françaises
USA	United States of America, Spojené státy americké

## Prohlášení o využití výsledků diplomové práce

Prohlašuji, že

- jsem byla seznámena s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo;
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně, ke své vnitřní potřebě, diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3);
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě archivována v Ústřední knihovně VŠB-TUO a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že bibliografické údaje o diplomové práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO;
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- bylo sjednáno, že užít své dílo, diplomovou práci, nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).

V Ostravě dne 29.5.2018...

  
.....  
jméno a příjmení studenta

## **Seznam příloh**

Příloha č. 1: Autokorelační analýza

Příloha č. 2: Test poměrem rozptylů

Příloha č. 3: BDS test

Příloha č. 4: ARCH test

Příloha č. 5: Whiteův test

Příloha č. 6: Klasifikace jednotlivých typů hypotézy náhodné procházky a hypotézy martingálu